

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program M3106 Textilní inženýrství

Textilní a oděvní technologie

Zaměření: Textilní technologie

Katedra textilních technologií

**Vliv finálních úprav na nehořlavé a fyziologické vlastnosti vybraných pletenin na bázi nehořlavých vláken**

**Influence of the final treatments on non-flammable and the physiological properties of selected knitted fabrics based on non-flammable fibers**

Jan Vondruška

Vedoucí diplomové práce : Ing. Bc. Monika Vyšanská, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stránek:98

Počet obrázků:3

Počet tabulek:30

Prohlášení:

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

20. prosince 2011

Podpis

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Bc. Monice Vyšanské, Ph.D. za pomoc s realizací diplomové práce, za její náměty a vstřícnost. Dále bych chtěl poděkovat Dipl. Ing. Marii Pilíkové za ochotu, čas, který mi při tvorbě této diplomové práce věnovala, za její cenné rady a odbornou spolupráci. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přátelům, jenž mi byli oporou.

## Anotace

Diplomová práce se zabývá problematikou nehořlavých vláken ve vztahu ke konstrukci úpletu vhodného k užití pro spodní oblečení hasičů. Z nastíněné nabídky na trzích dostupných nehořlavých materiálů jsou zvolena, dle jejich charakteristických vlastností, vlákna splňující tento účel. Hodnoceny a zkoumány jsou zejména dvě praktické oblasti výrobků z nich vytvořených: vlastnosti spojené s komfortem při nošení a zajištění požadované podmínky nehořlavosti.

DP je logicky členěna do následujících kapitol: požadavky na pletené prádlo určené pro hasiče a vysvětlení pojmů souvisejících s komfortem při jeho užívání, požadavky na nehořlavé textilie a druhy nehořlavých vláken, výběr vláken vhodných pro účel zadání DP, popis vyhodnocovacích metodik, praktické výsledky hodnotících zkoušek.

Vhodnost zvolených materiálů je deklarována zhodnocením jejich charakteristických užitných vlastností a doložena praktickými zkouškami vyhodnocení fyziologických a nehořlavostních charakteristik.

## Annotation

This thesis deals with non-flammable fiber in relation to the construction of fabric suitable for use the underwear firefighters. The outlined in the markets available to non-flammable materials are selected to their properties, fibers satisfying this purpose. Evaluated and explored are the mainly two practical field of products made from them: properties associated with wearing comfort and ensuring the required conditions for flame resistance.

The thesis is logically divided into the following chapters: requests for knitted fabrics, which are designed for firefighters and the explanation of terms related with comfort in its use, requirements for non-flammable textiles and types of non-flammable fibers, fiber selection suitable for the purpose of this thesis and the description of evaluation methodics, practical results of evaluation tests.

The suitability of selected materials is declared evaluation of their characteristic properties and utility supported by practical tests and evaluation of the physiological and non-flammable characteristics.

## Seznam použitých symbolů a zkratk

HZS	hasičský záchranný sbor
LOI	kyslíkové číslo (Limiting Oxygen Index)
PBO	polybenzoxazolová vlákna
PBI	Polybenzimidazol
PPS	Polyfenylénsulfid
PTFE	polytetrafluorethylen
PAN	polyakrylonitril
FR	flame resistant
UHMPE	Ultra High Molecular Polyethylene
PP	polypropylén
R	prodyšnost
qv	rychlost průtoku vzduchu
A	zkoušená plocha textilie
Ret	odolnost vůči vodním parám
Up.	upravený
Rez.	režný
Např.	například
Atd.	a tak dále
Nam.	naměřené
Hod.	hodnoty
Pric.	příčné
Pod.	podélné
Tj.	to je
Tzn.	to znamená
Tm	teplota měknutí
TR	teplota rozkladu
r.	roku
fa	firma
USA	Spojené státy Americké
MPD-I	mfenylen-isoftalamidu
PPD-T	poly-p-fenylen-tereftalamidu

LKČ	limitní kyslíkové číslo
IC	Intercolor
VUB	výzkumný ústav bavlnářský
Pad	polyamid
vys.	výsledná
směr.od.	směrodatná odchylka
var.koef.	variační koeficient
IS	interval spolehlivosti
d	délka
š	šířka
N	ne

#### Klíčová slova

ohnivzdorná vlákna  
fyziologické vlastnosti  
nehořlavá úprava  
fyziologický komfort

#### Keywords

fireproof fibers  
physiological properties  
non-flammable treatment  
physiological comfort

## Obsah

1	Úvod .....	11
1.1	Historie ochranných zásahových obleků hasičů .....	14
1.2	Stručná charakteristika a rozdělení pletenin .....	15
2	Požadavky na pletené prádlo pro hasiče – fyziologický komfort a nehořlavost .....	17
2.1	Fyziologické vlastnosti .....	20
2.1.1	Propustnost vzduchu .....	20
2.1.2	Popis metodiky hodnocení prodyšnosti .....	21
2.1.3	Propustnost tepla .....	22
2.1.4	Propustnost vody .....	23
2.1.5	Propustnost vodních par .....	23
2.1.6	Popis metodiky hodnocení odolnosti vůči vodním parám (paropropustnost) .....	24
2.2	Fyziologický komfort .....	25
2.2.1	Oděvní komfort hasiče .....	27
2.2.2	Termofyziologický komfort .....	28
2.2.3	Teplota pokožky .....	29
2.2.4	Vlhkost pokožky .....	29
2.2.5	Knotové chování .....	29
2.2.6	Senzorický komfort .....	30
2.2.7	Psychologický komfort .....	31
2.2.8	Patofyziologický komfort .....	31
2.3	Nehořlavost materiálů .....	32
2.3.1	Proces hoření textilií a jeho omezení .....	33
2.3.2	Požadavky na ochranné nehořlavé textilie .....	37
2.3.3	Popis metodiky hodnocení hořlavostních charakteristik .....	39
3	Omezení hořlavosti – ohnivzdorná vlákna .....	45
3.1	Ohnivzdorná vlákna z organických polymerů .....	45
3.1.1	Aromatická polybenzoxazolová vlákna (PBO) .....	45
3.1.2	Polybenzimidazolová vlákna (PBI) .....	45
3.1.3	Polyfenylénsulfidová vlákna (PPS) .....	46
3.1.4	Aramidová vlákna .....	46
3.1.5	Meta-aramid .....	47
3.1.6	Para-aramid .....	47
3.1.7	PTFE vlákna .....	49



3.1.8	PAN (PANOX) vlákna.....	49
3.1.9	Melaminová vlákna .....	50
3.1.10	FR viskóza .....	50
3.1.11	Polyimidová vlákna.....	51
3.1.12	.Vysokopevnostní polyetylén (UHMPE) (Spectra a Dyneema).....	51
3.1.13	Polyoxadiazolová vlákna.....	52
3.2	Ohnivzdorná vlákna z anorganických polymerů .....	53
3.2.1	Uhlíková vlákna .....	53
3.2.2	Keramická vlákna.....	54
3.2.3	Bórová vlákna .....	54
3.2.4	Skleněná vlákna.....	55
3.3	Nehořlavá úprava .....	55
4	Vhodnost nehořlavých vláken pro jejich konečná použití .....	59
4.1	FR Viskóza.....	60
4.2	Kanekaron (Modacryl).....	60
4.3	Kermel .....	63
4.3.1	Směs Kermel/Viskoza FR .....	64
4.4	Rhovyl.....	65
5	Experimentální část.....	67
5.1	Výběr textilií pro experimenty .....	67
6	Výsledky hodnocení fyziologických charakteristik .....	70
6.1	Výsledky hodnocení prodyšnosti .....	70
6.2	Výsledky hodnocení odolnosti vůči vodním parám .....	79
7	Výsledky hodnocení hořlavostních charakteristik.....	88
8	Závěr.....	94
9	Použitá literatura.....	97

## 1 Úvod

I v 21. století stále umírá mnoho lidí následkem požárních událostí.

V Evropě je každým rokem ohněm usmrceno asi 5000 lidí, v USA činí tento počet více než 4000 lidí. Přímé ztráty na majetku činí asi 0,2 % z hrubého domácího produktu a celkové náklady požárů jsou kolem 1 % hrubého domácího produktu. Ke ztrátám na životech ohněm dochází hlavně v bydleších, kde nábytek, pokrytí stěn a oděvy jsou často palivem.

V důsledku vývoje elektrického a elektronického zařízení představují naše domovy, ale i úřady, obchodní a průmyslové objekty, automobily, stoupající potenciál požární zátěže hořlavého materiálu.

Souběžné pronikání syntetických polymerů velice zvýšilo "riziko ohně" a "požární nebezpečí" vedoucí k následkům nejen pro lidi, ale i pro konstrukce.

Zvýšení požárního nebezpečí je hlavně výsledkem kombinace různých faktorů zahrnujících zápalnost, snadné vyhasnutí, hořlavost vytvářených těkavých látek, množství tepla uvolňované při hoření, rychlost uvolňování tepla, šíření plamene, kouřové zahalení a toxicita kouře. Proto je životně důležité vyvíjet dobře navržené ohnivzdorné materiály, aby se tato požární nebezpečí snížila.

Zvýšení bezpečnosti člověka v oblasti ochrany proti ohni a teple byla na prvním místě ochranných priorit též na 41. Mezinárodním kongresu chemických vláken v rakouském Dornbirnu v roce 2006. Poznatek vyšel z výsledků průzkumu, jehož realizace se uskutečnila v pěti vybraných zemích EU v sektorech:

- a) Státní správa: hasiči, armáda, námořnictvo, policie, vězeňská služba, civilní ochrana, Červený kříž
- b) Průmysl: ropný, chemický, elektrárenský, metalurgický, loděřský
- c) ostatní: automobilové závody, rally

Priority v oblasti ochrany bezpečnosti lidí pracujících v prostředí zvýšeného nebezpečí a pokrok ve vývoji ohnivzdorných textilních materiálů dává příležitost nejen jejich výrobcům, ale i textilním firmám uplatnit svou technologii a tvořivost v oboru nedotčeném levnou konkurencí a masovou produkcí. V oboru, ve kterém záleží především

na kreativitu, schopnosti přizpůsobit se specifickým potřebám zákazníka a umění využívat netradiční materiály, technologické znalosti a možnosti. V oboru, ve kterém se dá předpokládat rostoucí poptávka v úzce ohraničeném konkurenčním prostředí.

Svou práci jsem proto zaměřil na možnosti využití nehořlavých vláken při výrobě spodního oblečení pro hasiče. Jejím cílem je ověřit a doložit schopnostmi zvolených materiálů zajistit ochranu organismu pracovníků této profese v rizikovém prostředí. Spolu s tímto požadavkem však splnit nejen podmínku nehořlavosti a ohnivzdornosti, ale i příjemného pocitu při jejich nošení. Nemá být pouze teoretickou úvahou, ale experimentální výsledky by měly doložit funkčnost navrhované konstrukce úpletů.

Hořlavost textilních materiálů je určována schopností retardace (zpomalení, zbrždění) hoření plamenu a obecně se stanoví limitním kyslíkovým indexem [LOI]. Index [LOI] označuje jaké množství kyslíku v atmosféře je potřebné k podpoře hoření. O vláknech, která mají index LOI větší než 25, můžeme říci, že jsou retardérem plamenu, tj. plamen zhasínající, ohnivzdorná. Údaj nám říká, že v atmosféře musí být přítomno alespoň 25 % kyslíku, aby vlákno hořelo.

Těchto hodnot dosahují chemická vlákna nové generace označovaná jako high-tech vlákna. Tato vlákna většinou mají nejen vysoký index LOI, ale vyznačují se také vysokou pevností a chemickou odolností.

Dostupná ohnivzdorná vlákna na našem trhu jsou:

- polyakrylonitrilová (Kanecaron, Protex M)
- meta-aramidová (Nomex, TejinConex, Kermel)
- para-aramidová (Kevlar, Twaron)
- polytetrafluoretylenová (Teflon)
- polyfenylénsulfidová (Ryton, Procon, Toray PPS)
- melaminová pryskyřice (Basofil)
- polyimidová (P-84)
- novoloidová (Kynol)
- polybenzoxazolová (Zylon)
- polynebzimidizolová /PBI)
- polyesterová (TreviraCS, Tesil, Eslon)
- viskózová (Lenzing FR, Visil)

V tabulce uvádím hodnoty vybraných ohnivzdorných high-tech vláken.

Tabulka 1.1.: Hodnoty LOI a tepelné vlastnosti vybraných ohnivzdorných high-tech vláken [1]

Vlastnosti vláken	m-/p-Aramid	Uhlík (na bázi PAN)	Sklo	PBI	PPS	PAN	PTFE	<u>Polyimid</u>	Polyamid imid
LOI	30 (m) 29 (p)	55	>100	38	34	43	>100	40	32
Tepelná vodivost	0,26(m)0,30(p)	0,03	7,2	0,26	0,3	0,31	0,2	N/A	0,08
Emise kouře-hust.	1	n/a	nízká	stopy	n/a	stopy	nízká	<1,0	<2,0
<u>Tepl.použ.(krátkodobá)</u>	315-370	velmi vys.	velmi vys.	>595	260	<u>Samovz.</u> při 450°C	430	<485	>420

Za nehořlavý materiál se považuje pouze sklo, ostatní materiály mohou být charakterizované pouze jako materiály se sníženou hořlavostí, které se ve formě vláken, tkanin, pletenin, netkaných textilií používají jako primární ochrana zdraví a života člověka před ohněm, vysokými teplotami, sálavým teplem apod.

Dostupná ohnivzdorná vlákna na našem trhu jsou:

- polyakrylonitrilová (Kanecaron, Protex M)
- meta-aramidová (Nomex, TejinConex, Kermel)
- para-aramidová (Kevlar, Twaron)
- polytetrafluoretylenová (Teflon)
- polyfenylénsulfidová (Ryton, Procon, Toray PPS)
- melaminová pryskyřice (Basofil)
- polyimidová (P-84)
- novoloidová (Kynol)
- polybenzoxazolová (Zylon)

- polynebzimidizolová (PBI)
- polyesterová (TrevíraCS, Tesil, Eslon)
- viskózová (Lenzing FR, Visil)
- polyvinylchloridová (Rhovyl)

Svoje uplatnění nacházejí tyto materiály na trhu se speciálními produkty, jejich použitelnost se nadále rozšiřuje, a to i přes vysoké ceny. [1]

## 1.1 Historie ochranných zásahových obleků hasičů

Do roku 1990 byly používány dle ročního období dva druhy zásahových obleků a to letní a zimní typ, přitom měli hasiči větší počet zásahů u požárů. Byly to pouze jednovrstvé obleky, přičemž by se dalo říci, že ochrana těmito obleky byla prakticky nulová, nehledě na zpracování a komfort. Když bylo nutno zasahovat ve ztížených klimatických podmínkách, tyto obleky velmi rychle nasákly vodou a následně se stávaly velmi těžkými. V období zimy se manipulace v nich stávala velmi obtížnou, z důvodu tuhnutí materiálu za nízkých teplot. Musíme ovšem zohlednit to, že v této době byl přístup k vysoce funkčním materiálům pro výrobu ochranných obleků velmi problematický a dovoz speciálních obleků ze zahraničí do Československa nebyl možný.

První varianta letního obleku se skládala s knoflíky zapínatelného kabátu přesahující zásahové kalhoty a zimní typ byl totožný, jen byl obohacen o klopy. Tyto obleky nevyhovovaly jak z hlediska ochrany zdraví, tak z hlediska práce ve ztížených podmínkách, jelikož při zásazích u požárů si hasiči museli polévat obleky vodou, aby byli alespoň částečně chráněni před plameny a teplem od požáru. Další z mnoha nevýhod bylo to, že obleky měly nulovou odolnost proti prořezání a protržení od ostrých předmětů a také nedostatečné krytí v oblasti beder.

Následná druhá „vylepšená“ varianta byla téměř identická, avšak bylo dosaženo zvýšení kalhot nad pás a měly šle. Při výrobě kabátů se začal používat pevnější materiál a kabát byl zkrácen. Oblast beder již byla kryta, ale ostatní nevýhody zůstaly totožné jako u první varianty. Zimní typ byl totožný s první variantou. Tyto obleky byly používány velmi dlouho dobu, a to i přes veškeré jejich nevýhody až do doby, kdy je postupně začaly nahrazovat moderní zásahové obleky vyrobené převážně z materiálu Nomex. [2]

## 1.2 Stručná charakteristika a rozdělení pletenin

Pletařství je jedno z nejstarších oborů tvorby plošných textilií, jejich výhodou tvoří variabilita výrobků. Při pletení můžeme tvořit širokou škálu tvarů s téměř nulovými zbytky. V dnešní době navíc pletací stroje vynikají velmi vysokou produkcí. Když se řekne pletení, většina lidí si představí nějakou část oděvů, avšak pod pojmem pletené zboží se ukrývá daleko širší škála výrobků, jako jsou například výztuže kompozitních materiálů, interiérové textilie, obaly, implantáty a mnoho jiných významných pletenin.

Pojmem pletenina se myslí plošná textilie, která vzniká provazováním různých vazebních prvků. Může vzniknout i z rovnoběžně natažených, na obou koncích upnutých, nití, což je hlavní rozdíl oproti tkaninám. Základním stavebním prvkem pleteniny je klička, která může být otevřená či uzavřená a jejich vzájemným provazováním vznikají očka, jenž dle směru mohou být lícní (protáhena zezadu dopředu) či rubní (protáhena zepředu dozadu) a dle uzavřenosti mohou být otevřené a uzavřené. Místu překřížení nití se, stejně jako u tkanin, říká vazný bod. Očko se skládá z jehelního obloučku, což je vrchní část očka, platinového obloučku, a jsou spojeny stěnou očka. Vertikálním provázáním oček vznikne sloupek a očka jdoucí horizontálně tvoří řádek.

Pleteninu můžeme rozdělit na dvě základní skupiny, kterou tvoří pleteniny zátažné, též nazývané jako útkové a pleteniny osnovní. Největšími rozdíly mezi těmito skupinami jsou směry vedené nitě, kdy nit u pleteniny zátažné je vedena ve směru vodorovném a u pleteniny osnovní je tomu právě naopak, nit je vedena ve směru svislém. Další velký rozdíl tvoří paratelnost, u pleteniny zátažné jsme schopni tahem za nit tvořit destrukci oček a pleteninu párat, kdežto u pleteniny osnovní tomu tak není především vlivem její rozmanitosti oček, kdy máme možnost tvořit očka jak uzavřená, tak otevřená, nit také můžeme vést do jiného řádku i sloupku. Základními vazebními prvky jsou chytová klička (klička je přetažena k hornímu jehelnímu obloučku), podložená klička (nit neprovazuje).

Pleteniny mohou být pleteny v mnoha podobách, jako jsou metráže, ty mohou být ploché a hadicové, také se mohou plést díly netvarované, plošně tvarované nebo prostorově tvarované, ve většině případů u hotových výrobků zakončené lemem s neparatelným začátkem, není pak potřeba konfekčních úprav. Moderní pletací stroje již dokáží plést velmi složité vazby s vratným kladením nití, zabraňující páráni. Jako příklad si můžeme uvést možnost uplést oděvní výrobek již s kapsami a dírkami na knoflíky, čím nahradíme

konfekční proces spojování, což má za výhodu velmi malé procento odpadu. Jestliže na oděvní výrobky používáme metráž, odhaduje se odpad na 30 % a více.

Dle norem ČSN 80 0018 a 80 0019 je rozdělení pletařských vazeb do 6 skupin následující:

- ZJ (zátažné jednolící) – všechny vazby, v jejichž vazbě jsou očka provlékána stejným směrem (z rubu na líc),
- ZO (zátažné oboulící) – všechny vazby, v nichž jsou obsaženy lícni i rubní sloupky oček,
- ZR (zátažné obourubní) – veškeré vazby s výskytem lícních i rubních oček ve sloupku,
- ZI (zátažné interlokové) – vazby, které vznikají tak, že prostoupí dvě oboulící podstruktury,
- OJ (osnovní jednolící) – všechny vazby, v jejichž vazbě je pouze jeden typ oček,
- OO (osnovní oboulící) – podobně jako u ZO se ve vazbě vyskytují lícni i rubní sloupky.

Všechny z výše uvedených skupin mají ještě své podskupiny, do kterých se dělí podle vzájemné návaznosti druhu oček. Těchto skupin je celkem pět:

1. vazby s plným počtem oček – na stroji jsou zapojeny všechny jehly a tvoří nejvyšší možný počet oček a to v každém řádku,
2. vazby s chybějícími očky – některé jehly jsou vyřazeny z procesu vytváření oček a to buď trvale či pouze dočasně,
3. vazby s chytovými kličkami – vazby obsahující chytové kličky,
4. vazby s přidavnými nitěmi – k základní vazbě pleteniny jsou přidány, pomocí chytových kliček, dvojité očky, či jiným způsobem, další nitě, které však pouze zlepšují její vlastnosti. V případě odstranění těchto nití nedojde k destrukci pleteniny,
5. vazby se změnou polohy či struktury vazebních útvarů – zpravidla jde o převěšování oček do jiného sloupku.[21]

## 2 Požadavky na pletené prádlo pro hasiče – fyziologický komfort a nehořlavost

Vzhledem k náročnosti prostředí, ve kterém se hasiči pohybují, je třeba respektovat řadu specifických nároků pro speciální oděvy určené pro použití v extrémních podmínkách:

- nesmí zvyšovat nebezpečí,
- působením přímého plamene nebo kapek tekutého kovu nesmí dojít ke vznícení ani hoření,
- působením plamene se nesmí tavit a vytvářet otvory,
- během životnosti musí být oblečení celistvé,
- nesmí docházet ke srážení působením tepla,
- pro uživatele musí být příjemný na dotek a nesmí ho zraňovat a dráždit pokožku,
- musí prokázat stálost při opakovaném praní a čištění, musí být zachován rozměr obleku,
- musí zabraňovat absorpci vody nebo jiných kapalin,
- musí splňovat antistatickou funkci (zabránění kumulace elektrostatického náboje),
- materiál nesmí být škodlivý pro lidský organismus,
- musí splňovat tepelně izolační kritéria,
- materiál chránit proti popálení při kontaktu s plamenem,
- materiál musí být prodyšný a komfortní při dlouhodobém nošení,
- pevnost švů a uzávěrů, by měla být stejná jako pevnost samotného materiálu

Pro dosažení zvláštních ochranných funkcí se používají vlákna vysokých užitných vlastností (FR viskóza, aramidy, atd.). Další vlastnosti můžeme ovlivnit druhem a materiálem použité příze.

Spodní prádlo pod oblekem hasičů sice není specificky určené, avšak měla by se používat vrstva spodního prádla, která by měla být z funkčního materiálu, který zabrání zhoršení následujících parametrů: nasákavosti, hmotnosti, tepelného stresu, tepové frekvence, průniku par. Kromě toho použitím nefunkčních materiálů můžeme hasiče ohrozit na životě. Výběr materiálů by měl být přizpůsoben klimatickým podmínkám.



Ochranné obleky musí být odolné nejen proti ohni a jeho pronikání a šíření vrstvami obleku, ale také proti všem tepelným zdrojům, musí tedy být kromě tepelné odolnosti také odolné vůči radiačnímu tepelnému záření a musí splňovat podmínky tepelné izolace. Tepelnou odrazivost můžeme zajistit pokovením hliníkem. Zvýšená teplotní sráživost vláken nám může tepelně izolační vlastnosti negativně ovlivnit, jedná se však o teploty 300°C a vyšší. Např. u ochranných obleků pro hasiče samotná nehořlavost je nedostačující, musí zde být zajištěna i tepelná odolnost, aby teplo neprošlo a nedošlo k popálení jeho nositele. Materiály vhodné pro tento účel použití jsou ty, jež mají LOI nad 30. Můžeme sem zařadit:

- polyamidimidy
- polybenzimidazol
- novoloid
- některá akrylová vlákna

Problém nastává u obleků, u kterých chceme navíc zajistit odolnost vůči kapajícímu kovu. Převážně postačuje velmi vysoká hustota textilie, jedinou výjimkou je hliník, jež ulpívá na řadě nehořlavých materiálů. [3]

Ve složení zásahového ochranného obleku se můžeme setkat ne s jedním materiálem, ale s celou paletou speciálních materiálů dávajících společně komplexní ochranu. Základní složení je vnější vrstva a vlhkostní a tepelná bariéra.

Veškeré materiály použité ve vrstvách zásahového obleku musí vyhovovat požadavkům na údržbu, praní a samotného nošení, přičemž se nesmí znehodnotit komfort a ochrana. [2]



Obr. č. 2.1 Skladba jednotlivých vrstev zásahového obleku pro hasiče [2]

1. Okolní prostředí (místo mimořádné události).
2. Vnější vrstva zásahového obleku.
3. Vlhkostní bariéra.
4. Tepelná bariéra.
5. Vzduchová kapsa mezi zásahovým oblekem a funkčním spodním prádlem.
6. Funkční spodní prádlo.
7. Mikroklima mezi pokožkou lidského těla a funkčním spodním prádlem.
8. Tělo hasiče. [2]

Na většinu vyrobeného oblečení pro tento sektor se používají vysoce kvalitní a drahá vlákna.

Ohlédneme-li se do historie, zjistíme, že Evropa byla podstatně pomalejší v přechodu z tradičních těžkých materiálů (vlna, kůže) na výkonnější vlákna jako m-aramidy, než USA.

Podíl Nomexu na trhu Evropy s protipožárním oblečením je odhadován na poloviční oproti USA. Pozvolné otevírání zásobování ochranným oblečením spolu s nedostatkem evropských norem pro hasiče vedlo k velkému vývoji oblečení, mnohdy s výrobci vláken.

Výsledkem tohoto snažení byl trend výroby náročnějších, vícevrstvých kombinací

aramidu spolu s aktivně dýchajícími vodotěsnými membránami, které byly vyvinuty právě za účelem zlepšení komfortu při nošení.

Například Velká Británie přešla na oděvy z Nomexu III vyztuženým kevlarom a s mikropórovitou vložkou. Francie vybavila své hasiče zásahovými obleky z Kermelu mnohdy kombinovaným s a-aramidem Twaron. Nechořlavá viskóza je výkonově na stejné úrovni s aramidem, je pohodlnější a levnější, avšak je používána pouze jako podpora ve směsových tkaninách. Stále více se rozmáhá Proban a jemu podobné nehořlavě upravené bavlněné textilie, z nichž se pak vyrábí spodní prádlo pro hasiče a košile.

Spotřeba nehořlavých materiálů u hasičů se zvyšuje do objemu i do hodnoty, je to dáno především vývojem nových vícevrstevných výrobků. V malém množství, které stále roste, se také můžeme setkat s materiály jako keramika, a-aramidy a jiné vysoce funkční materiály, jenž brání proti prořezání a odření v extrémních podmínkách [4]

## 2.1 Fyziologické vlastnosti

Vlastnosti textilie spolu s její strukturou mají souvislost s určitými fyziologickými reakcemi organismu. Fyziologickými vlastnostmi rozumíme transportní jevy, tj. procesy přestupu tepla a hmoty vrstvou textilie. Dle druhu prostupující látky můžeme vlastnosti rozdělit na:

- propustnost vzduchu
- propustnost tepla (sálání, vedení, proudění)
- propustnost vody
- propustnost vodních par

Tyto vlastnosti jsou prověřovány dvěma způsoby:

- v laboratorních podmínkách
- v podmínkách bioklimatické komory (modelové podmínky nošení) [5]

### 2.1.1 Propustnost vzduchu

Propustností vzduchu rozumíme schopnost plošné textilie propouštět vzduch za daných podmínek. Je definována jako objem vzduchu, který projde jednotkovou plochou textilie za jednotku času při daném rozdílu tlaků mezi oděvním mikroklimatem a okolím. Je závislá na průměru a objemu vláken (přízí), hustotě, pórovitosti a struktuře textilie

(zaplnění).

Ovlivnitelná je také vlhkostí prostředí (absorpce vlhkosti a v důsledku toho nabobtnání vláken), počtem vrstev a povrchovou úpravou plošné textilie.

Této vlastnosti se využívá úspěšně při konstrukci výrobku pro účely svrchního ošacení, sezónního a sportovního oblečení. [5]

## 2.1.2 Popis metodiky hodnocení prodyšnosti

Prodyšnost byla měřena přístrojem Air-Penetration SDL MO21S dle evropské normy ČSN EN ISO 9237 (800817) Textilie – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií, tato norma stanovuje metodu pro měření prodyšnosti plošných textilií pro technické účely, netkané textilie a textilní oděvní výrobky.

Prodyšnost můžeme definovat jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo na zkušební vzorek při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu.

Měří se rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo danou plochou plošné textilie při stanoveném tlakovém spádu.

Přístroj se skládá z následujících prvků:

- kruhový držák zkušebních vzorků s otvorem o dané ploše, přičemž odchylka velikosti plochy otvoru nesmí překročit  $\pm 5 \%$ ,
- upínací zařízení, které zajistí bezpečné upnutí vzorku bez deformace (je třeba zamezit pronikání vzduchu okraje zkušební vzorku),
- ochranný prstenec, k zabránění pronikání vzduchu okraje vzorku
- zařízení pro měření tlaku spojené se zkušební hlavicí (s přesností minimálně  $2 \%$  pro měření tlakového spádu),
- zařízení k dosažení konstantního průchodu vzduchu o stanovené teplotě a vlhkosti a pro seřízení rychlosti průtoku vzorkem,
- průtokoměr, měřič objemu nebo měřicí clonka, které měří rychlost průtoku vzduchu s přesností minimálně  $\pm 2 \%$ . [24]

Před zkoušením se vzorky klimatizují a zkouška se provádí v normálním ovzduší pro zkoušení. Při srovnávacích zkouškách je vhodné provádět zkoušku při stejné zkušební ploše a stejném tlakovém spádu.

Postup zkoušky: Zkušební vzorek se upne do kruhového držáku vzorku s použitím dostatečného napětí, které zabrání vzniku záhybů. Je třeba dbát na to, aby upnutá plocha textilie nebyla deformována. Je třeba se vyhnout švům, zmačkaným místům a skladům. U plošných textilií, jejichž strany mohou být různě prodyšné, se v protokolu uvede, která strana byla zkoušena. Zapne se sací ventilátor nebo jiné zařízení, které nasává vzduch přes zkušební vzorek a průtok se postupně seřizuje tak, aby na zkušební ploše textilie vznikl požadovaný tlakový spád. Nejméně po jedné minutě nebo po dosažení ustálených podmínek se zaznamenává průtok vzduchu.

Zkouška se opakuje za stejných podmínek minimálně desetkrát na různých místech zkušební vzorku.

Výpočet se provádí dle vzorce:

$$R = qv/A \cdot 100 \quad (1)$$

kde  $R$  je prodyšnost [m/s]  
 $qv$  je rychlost průtoku vzduchu [ml/cm<sup>2</sup>/s]  
 $A$  je zkoušená plocha textilie [cm<sup>2</sup>] [24]

### 2.1.3 Propustnost tepla

V našich klimatických podmínkách, kdy se lidský organismus vyskytuje v prostředí o nižší teplotě než 37 °C hraje oděv významnou úlohu. Tepelná propustnost oděvu přímo souvisí s tepelnou pohodou člověka. O lidském organismu můžeme hovořit jako o tepelně pracujícím stroji, v němž probíhají pochody založené na změně chemické energie na tepelnou, při konstantní vnitřní tělesné teplotě. Pouze část vyprodukovaného tepla slouží k udržení tělesné teploty, větší část tepla je z pokožky odváděna vedením a sáláním. Tepelné rovnováhy se dosáhne, jestliže je organismu odebíráno veškeré uvolněné a nespotřebované teplo. Stav tepelné pohody předpokládá, aby veškeré teplo transportované z povrchu pokožky do oděvní mezivrstvy bylo dále transportováno vrstvou textilie do okolí. Hromadění tepla v oděvní mezivrstvě by porušovalo podmínku tepelné rovnováhy.

Transport tepla oděvním mikroklimatem, tj. vrstvou vzduchu mezi povrchem pokožky a vnitřním povrchem plošné textilie se děje prouděním tepla. [5]

Textilie s kvalitní tepelnou izolací se vyznačují nízkou tepelnou vodivostí, tzn.

schopností látky vést teplo a vysokým tepelným odporem, tzn. schopností textilie klást odpor proti průchodu tepla. Tepelný odpor je přímo úměrný tloušťce textilního materiálu. Propustnost tepla je odvislá od druhu použitého materiálu a závisí na struktuře plošného textilního výrobku (typu vazby, zaplnění, tloušťce materiálu, počtu vrstev).

Zvýšit ji lze kadeřením přízí, obloučkováním, objemováním. Ovlivněna je také vzduchovým prostorem mezi pokožkou a oblečením, u vícevrstevných oděvů velikostí prostoru mezi jednotlivými vrstvami. [5]

## 2.1.4 Propustnost vody

Pro funkční vlastnosti textilie je důležitá schopnost udržovat rovnováhu mezi vlhkostí vzduchu oděvního mikroklimatu a okolním prostředím. Měla by být schopna odvádět vlhkost, to znamená propouštět vodu, jak ve skupenství plynném (ve formě páry), tak ve skupenství kapalném (pot).

Předpokladem toho, aby textilie sála vodu, je dobrá smáčivost textilního materiálu. Dobrou smáčivostí se vyznačují přírodní materiály (bavlna, vlna, len...), většina umělých vláken je vodou nesmáčivá. Smáčivost těchto materiálů lze ovlivnit povrchovou úpravou nanesením látky, která buď přijímání, nebo odpudivost vody podporuje. Současně s nasáváním vody probíhá odpařování vody z textilie do okolního prostředí. Proces hromadění vody v textilním materiálu se zastaví tehdy, když se mechanismus nasávání a odpařování vody dostanou do rovnováhy. Množství vody, které je možno se odpařit z povrchu textilie, se zvyšuje s teplotou a rychlostí proudění okolního vzduchu, i s velikostí povrchu a klesá se zvyšující se relativní vlhkostí vzduchu. Je ovlivněna též strukturou textilního materiálu. Vodu lépe transportují textilie s hrubším povrchem a vyšší porezitou. [5]

## 2.1.5 Propustnost vodních par

Propustností vodních par rozumíme schopnost transportu vodních par jako i schopnost textilie neklást odpor prostupu vodních par. Závisí na odolnosti vůči vodním parám a teplotě. Je ovlivněna typem textilního materiálu, jeho strukturou, dostavou, vazbou a povrchovou úpravou. [6]

## 2.1.6 Popis metodiky hodnocení odolnosti vůči vodním parám (paropropustnost)

Odolnost vůči vodním parám byla měřena přístrojem Sweating hotplate 8.2 dle evropské normy ČSN EN 31092 (800819) Textilie – Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou).

Definice odolnosti vůči vodním parám, Ret: rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. Výparný tepelný tok se může skládat jak z rozptýlených, tak i z konvekčních složek.

Odolnost vůči vodním parám Ret, vyjádřená v  $\text{m}^2 \cdot \text{Pa} / \text{W}$  je veličina specifická pro textilní materiály nebo kompozity, která je definována jako „latentní“ výparný tepelný tok procházející danou plochou, odpovídající ustálenému použitému tlakovému gradientu páry.

Podstatou zkoušky je umístění zkušební vzorku na elektricky vyhřívanou destičku a klimatizovaný vzduch proudí paralelně s jeho povrchem.

Pro určení odolnosti vůči vodním parám je elektricky vyhřívaná porézní destička zakrytá membránou, propouštějící vodní páry, ale nepropouštějící vodu. Voda přiváděná k vyhřívané destičce se odpařuje a prochází membránou ve formě páry, takže zkušební vzorek nepřijde s vodou do styku. U zkoušeného vzorku umístěného na membráně je tepelný tok, nutný pro zachování teploty na destičce mírou rychlosti vypařování vody a z toho se stanoví odolnost vzorku vůči vodním parám.

Technický popis stanoví odolnost vůči vodním parám Ret materiálu tím, že odolnost vůči vodním parám mezní vzduchové vrstvy nad povrchem zkušební zařízení se odečte od odporu zkoušeného vzorku a mezní vzduchové vrstvy, přičemž obě se měří za stejných podmínek.

Zkušební zařízení se skládá ze dvou hlavních částí, a to z měřicí jednotky s regulací teploty a přívodu vody a tepelného chrániče s regulací teploty.

Měřicí jednotka s regulací teploty a přívodu vody sestává z kovové destičky o tloušťce přibližně 3 mm a s minimální plochou  $0,04 \text{ m}^2$  připevněné ke kovovému vodivému bloku s elektrickým vyhříváním elementem. Pro měření odolnosti vůči vodním parám musí být kovová destička pórovitá.

Měřicí jednotka a tepelný chránič jsou zabudovány ve zkušebním prostoru, ve kterém jsou teplota a vlhkost okolního vzduchu regulovány. Teplota proudu vzduchu musí

být regulována s přesností  $\pm 0,1$  K po dobu zkoušky. Relativní vlhkost proudu vzduchu musí být během doby měření také regulována s přesností  $\pm 3$  %. Proud vzduchu je měřen při teplotě vzduchu  $20^{\circ}\text{C}$  v bodě nad středem nezakryté měřicí jednotky ve vzdálenosti 15 mm nad měřicím stolem. V tomto bodě naměřená rychlost proudění musí vykazovat střední hodnotu 1 m/s, přičemž odchylka během trvání zkoušky nesmí být větší než  $\pm 0,05$  m/s.

Zkušební vzorky musí zcela zakrývat povrch měřicí jednotky a tepelného chrániče. Z každého zkoušeného materiálu se musí vystříhnout a zkoušet nejméně tři vzorky. Vzorky musí být před zkoušením klimatizovány minimálně 12 h při dané teplotě a vlhkosti.

V hodnotách pro odolnost vůči vodním parám je zahrnuta konstanta přístroje. Tato konstanta  $Ret_0$  je určena jako „hodnota nezakryté destičky“ a je podstatné, že vrchní povrch měřicí jednotky je ve stejné rovině s měřicím stolem.

Při stanovení  $Ret_0$  je povrch porézní destičky udržován neustále vlhký pomocí dávkovacího zařízení na vodu. Hladká celofánová membrána propouštějící vodní páry, ale nepropouštějící vodu, o tloušťce 10  $\mu\text{m}$  až 50  $\mu\text{m}$  musí být připevněna nad porézní destičkou. Celofánová membrána musí být vlhčena destilovanou vodou a připevněna k měřicí destičce vhodnými prostředky tak, aby zůstala celá bez pomačkání. Voda přiváděná k měřicí destičce musí být destilovaná, nejlépe dvakrát a před použitím znovu převařená, aby neobsahovala plyn a aby se netvořily pod membránou vzduchové bubliny.

Povrchová teplota měřicí jednotky a teplota vzduchu se seřídí na  $35^{\circ}\text{C}$ . Rychlost vzduchu se seřídí na 1 m/s. Relativní vlhkost vzduchu musí být konstantní 40 %.

Zkušební vzorky musí být umístěny tak, aby ležely rovně přes měřicí jednotku se stranou, která v praxi pokrývá lidské tělo k měřicí jednotce. V případě vícenásobných vrstev musí být vzorky sestaveny a složeny na měřicí jednotce tak jako na lidském těle. Lze použít přilnavý pásek nepropouštějící vodní páry, nebo rám z lehkého kovu k upevnění krajů zkušební vzorku. Musí se zabránit bublinám a pomačkání zkušební vzorku nebo vzduchovým mezerám mezi vzorkem a měřicí jednotkou nebo komponentami několika vrstev vzorku za předpokladu, že nejsou specifické pro profil povrchu vzorku.[23]

## 2.2 Fyziologický komfort

Fyziologický komfort zjednodušeně můžeme nazvat pocitem pohody ve vztahu k použitému oděvu. Předpokládá rovnovážný stav mezi množstvím tepla produkovaného



organismem a množstvím tepla transportovaným z organismu do okolí.

Stavem komfortu rozumíme dosažení této rovnováhy, harmonie mezi člověkem a okolím. Výsledkem je pocit pohodlí, optimální průběh fyziologických funkcí a optimální pracovní výkon. Úměrně s fyzickým zatížením se zvyšuje intenzita transportu tepla z organismu do okolí. Zapojují se termoregulační mechanismy – dochází k aktivaci kožních kapilár, což vede ke zvýšení kožní teploty a větším ztrátám tepla z organismu do okolí. Podobným způsobem při procesu termoregulace se zintenzivní činnost potních žláz – dochází k produkci potu a zvýšení kožní vlhkosti. Tyto dva mechanismy termoregulace mají za cíl udržet konstantní teplotu a rovnováhu.

Různé klimatické a zátěžové podmínky ovlivňují tuto rovnováhu, na povrchu organismu se projevuje různými hodnotami povrchových teplot a vlhkostí.

Ty jsou závislé též na funkci oděvu – zda plní funkci tepelně izolační, anebo má teplo z povrchu organismu odvádět. V případě, že oděv plní funkci pouze transportní, je stav fyziologického komfortu dán vyššími hodnotami povrchových kožních teplot a vlhkostí, v případě, že plní funkci tepelně izolační hodnotami nižšími (protože je povrch pokožky více ochlazován). Tím je dáno, zda textilie bude veškeré produkované teplo a vlhkost odvádět do okolí, tzn. organismus bude pociťovat komfort, nebo bude-li docházet k hromadění tepla a vlhkosti v oděvní vrstvě, pak mluvíme o diskomfortu. Z tohoto pohledu posuzujeme vhodnost textilie nebo oděvních kompletů pro konkrétní praktické účely.

Fyziologický komfort je vnímán jako pocit pohodlí, nepřevládá ani pocit chladu, ani pocit tepla, lze v něm setrvat neomezeně dlouho. Pocity tepla se dostavují při větším pracovním zatížení nebo působení teplého klimatu a v oděvu, který postrádá vhodné transportní vlastnosti. Pocity chladu se naopak dostavují jako reakce organismu na nízkou teplotu eventuelně nízké pracovní zatížení oděvu, který má nedostatečné tepelně izolační vlastnosti. [5]

Optimální podmínky komfortu:

- teplota pokožky ...  $33,2 \pm 1^{\circ}\text{C}$
- relativní vlhkost okolního prostředí ...  $50 \pm 10 \%$
- rychlost proudění vzduchu ...  $25 \pm 10 \text{ cm.s}^{-1}$
- nepřítomnost vody na pokožce

- obsah CO<sub>2</sub> ... 0,07 %

Při výrobě textilních materiálů, oděvního výrobku a kompletaci celého hasičského zásahového oděvu je nezbytně nutné vzít v potaz a zhodnotit schopnosti textilie, jako přenos a prostup tepla, vodních par a vzduchu, aby bylo dosaženo co nejpřesněji výše uvedených hodnot a získání maximálního komfortu.

## Fyziologický diskomfort

- 25% povrchu pokožky je zvlhčeno potem
- pocit tepla (mírné teplo, teplo, horko) nebo chladu (chladno, zima, tuhnutí)
- je vnímáno lidským organismem subjektivně

Pro dosažení fyziologie odívání je nutná funkčnost celého systému odívání. Oděv nesmí zabraňovat pocení, ale umožňovat transport vlhkosti do vnějšího prostředí, nezpůsobovat přehřívání ani prochlazení organismu, zejména při dlouhodobém provozování aktivní činnosti. Musí vyrovnávat energetickou bilanci člověka a napomáhat termoregulačním procesům organismu v daném prostředí. [6]

### 2.2.1 Oděvní komfort hasiče

Správně vybrané použité ochranné oblečení hasiče ovlivňuje jeho výkon a celkový pocit při vykonávání svého povolání. Výše popsané fyzikální a biologické vlivy působení zvoleného oblečení na lidský organismus, na jeho zdraví a výkonnost nabývají v profesi hasiče vzhledem k jeho účelu použití násobně vyššího významu než-li při běžném nošení. Nepříjemné pocity tepla se při porušení optimálních hodnot tvořících komfort hasiče dostavují ve větší intenzitě. Tyto pocity jsou umocněny fyzickou zdatností a zdravotním stavem každého jedince, jeho přítomností v prostoru s teplým a vlhkým klimatem. Nezřídka jsou však vnímány pocity chladu, které se dostavují především jako reakce na nízkou teplotu či zdlouhavou činnost hasiče na místě zásahu. Samotná událost, klimatické podmínky, četnost odpočinku, doplňování tekutin a energie ovlivňují celkově pociťovaný komfort (či diskomfort).

Komfort se člení na čtyři skupiny:

- termofyziologický komfort,

- senzorický komfort,
- psychologický komfort,
- patofyziologický komfort. [6]

## 2.2.2 Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort obsahuje dva základní parametry: tepelný a výparný odpor. Výparný odpor nám vykazuje tepelné účinky vnímané pokožkou při odpařování potu a můžeme ho rozdělit na celkový výparný odpor ochranného zásahového oblečení a na výparný odpor mezní vrstvy vzduchu. Z čehož můžeme usoudit, že záleží na vlhkostním gradientu.

Při větší fyzické námaze tělo redukuje svou teplotu zvýšením odvodu tekutin pomocí potních žláz, které produkují pot.

Jestliže použijeme běžný textilní přírodní materiál, například bavlnu, vlnu, len a jiné, které mají velkou absorpci tekutin a vlhkost je vázána uvnitř vlákna, většina potu se shromažďuje v prádle. V následující fázi klidu, kdy organismus není zaměstnáván žádnou činností, prádlo nasáklé potem přestane být příjemné, dostaví se pocity chladu a vlhka, což můžeme označit jako zhoršení oděvního komfortu. Také může narušit psychickou pohodu a narůstá riziko podchlazení organismu.

U oblečení pro hasiče se tento problém odstraňuje použitím speciálních vláken, které postupně odvádějí vlhkost od těla. Ovšem pro správné fungování je nezbytně nutné, aby pot od pokožky odváděly všechny vrstvy oděvu. Z tohoto důvodu se používá funkční spodní prádlo, jenž celý proces odvodu urychluje a usnadňuje. Funkční prádlo je jeden z nejdůležitějších prvků hasičského vybavení, i proto je stále testováno z důvodu vysokých nároků na komfort, funkčnost a stálosti (například stálobarevnost, stálost vůči oděru, praní...).

Zmíněné oblečení má velkou výhodu, nebrání dýchání kůže (perspiraci), ta je však účinná jedině za existence proudění vzduchu, a to zejména při vyšších teplotách. Jinak brání účinnému ochlazování izolační vlastnosti vzduchu. Je samozřejmé, že všechna vlhkost se odstranit nedá, ale pomocí použití funkčního prádla můžeme odvod vlhkosti maximalizovat a zajistit tak maximálně možný komfort.

Termofyziologický komfort lze hodnotit:

- teplotou pokožky
- vlhkostí pokožky
- obsahem CO<sub>2</sub> ve vzdušné vrstvě nad pokožkou [6]

## 2.2.3 Teplota pokožky

Každá část našeho těla má rozdílnou teplotu. Nejvyšší teploty na lidském těle dosahující teploty 35 – 36 °C můžeme naměřit v místech největšího prokrvení, kam můžeme zařadit hlavu, břicho, prsní – hrudní část a oblast ledvin. Části těla, jako jsou nohy, ruce, atd. se nazývají periferní a mají teplotu přibližně 29 – 31 °C. Nejchladnějšími částmi můžeme označit ušní lalůčky, konečky prstů, hrot nosu, u těchto částí se teplota pohybuje v rozmezí pouhých 23 – 28 °C. I když každý člověk může tepelnou pohodu vnímat jinak, ale pohybuje se to v rozmezí 32 – 34 °C, i když se teplotní komfort u mnoha lidí může lišit a to buď směrem nahoru, nebo směrem dolů. [6]

## 2.2.4 Vlhkost pokožky

Před vlivy všeho druhu nás přirozeně chrání obal lidského organismu, kůže. Pro lidi, pracující v terénu u hasičského záchranného sboru, je kůže právě to centrum, které hospodaření s vodou mezi vnějším okolím a lidským tělem, zabezpečuje. Míra vylučování vody z organismu je přímo úměrná zdravotní a fyzické kondici, v klimatických podmínkách okolí, ve kterém se právě pohybuje a také vykonávané fyzické práci. Mnozí by řekli, že kůže vylučuje vodu v podobě potu, avšak skutečnost je odlišná. Organismus vylučuje vodu nejen potními žlázami, ale také povrchem pokožky. Vypařující se vyprodukovaná vlhkost ochlazuje pokožku, ale také způsobuje zabraňování dýchání pokožkou.

Dýchání pokožkou se rozumí proces výměny O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>, kdy organismus vstřebává kyslík, který se následně váže na krev a naopak produkuje oxid uhličitý, jenž vrací zpátky do okolí. [6]

## 2.2.5 Knotové chování

Dva podstatné faktory ovlivňující fyziologický komfort jsou transport kapalin

a rychlost sušení textilií. Kapilární stabilita a absorpce vlhkosti vláken jsou nejdůležitější vlastnosti, které ovlivňují rychlost sušení a chování transferu vlhkosti. Tyto vlastnosti jsou obzvláště důležité u sportovních oděvů, které jsou v přímém kontaktu s pokožkou či v horkých klimatech. Jestliže dojde k těmto situacím, je textilie schopná absorbovat velké množství potu, odvádět vlhkost na vnější povrch a udržovat tělo v suchosti. Je nutné prozkoumat knotové chování a schopnost rychlého sušení u funkčních pletenin, aby se tyto funkce daly optimalizovat.

Difúze vody a kapilární „knotování“ jsou mechanismy kapalinového transportu. Tyto mechanismy jsou určovány především rozdělením účinných kapilárních pórů, drahami a povrchovým napětím. Sušící rychlost materiálu je závislá na chemické struktuře vlákna.

„Knotování“ je přirozený tok kapaliny v porézní látce, doba knotování závisí na délce knotu. Knotování je výsledkem spontánního namočení, protože právě tím jsou kapilární síly vyvolány. Děje se pouze u textilií, které jsou vlhké, nebo přichází-li textilie do kontaktu s vodou. Kontaktní úhel určuje knotové chování, čím nižší kontaktní úhel, tím vyšší rychlost knotování.

Materiály na bázi přírodních vláken při styku s vodou bobtnají, proto jejich schopnost knotování je ovlivněna. U mnohých syntetických materiálů však ke knotování nedojde kvůli jejich vysokých kontaktních úhlům, to však můžeme zlepšit hydrofilními zušlechťovacími úpravami.

Používání nových vláken vede k tomu, že se moderní ochranné oblečení stává lehčí a funkčnější. [7]

## 2.2.6 Senzorický komfort

Senzorickým komfortem se rozumí vjemy a pocity při styku pokožky hasiče s vrstvou oděvu, která je s ní v přímém kontaktu. Mezi tyto pocity řadíme například pocit měkkosti, které by měly být příjemné, a tudíž přispívat k celkovému komfortu. Realita však může být jiná a soustředění hasiče na daný úkol a odvod pozornosti mohou být způsobeny nepříjemnými pocity vlhkosti, řezání, kousání a dalšími. Tyto nepříznivé vlivy v konečném důsledku mohou mít vliv na zdraví hasiče či na jeho okolí, ve kterém právě působí. [5]

## 2.2.7 Psychologický komfort

Psychologický komfort obsahuje dvě hlediska: klimatická a sociální. Klimatická hlediska jsou podřízena normám, které je také hodnotí a měla by být na vysoké úrovni. Při vyhodnocování by se také měly vzít v potaz tepelné – klimatické podmínky, které jsou z větší části dané geografickou polohou, například v České republice jsou podmínky konstantní, ale existují oblasti, kde se mohou objevovat větší výkyvy klimatických podmínek. Do těchto lokalit spadají zejména horské oblasti s nižšími teplotami, se špatnými povětrnostními podmínkami a větším množstvím srážek. Pak se můžeme setkat s případy, kdy v zimním období nemusí základní spodní prádlo s ochranným oděvem zcela vyhovovat.

Zásahové obleky jsou díky normám prakticky stejné, tudíž se sociální hledisko nepřipouští. Jestliže však vezmeme v úvahu společné působení jednotek hasičského záchranného sboru a jednotek sboru dobrovolných hasičů, pak se můžeme setkat s horší vybaveností ze strany oděvů dobrovolníků, které ale i tak musí splňovat minimální parametry dané příslušnými normami. U ochranných zásahových obleků můžeme jako největší problém v hodnocení komfortu uvést opotřebení během hasičské činnosti. Bohužel tento problém musí řešit jednotlivé hasičské sbory řešit individuálně dle finančních možností. [5]

## 2.2.8 Patofyziologický komfort

Patofyziologický komfort, také označován jako patofyziologie je vědní obor zabývající se převážně studiem vzájemného působení v systému organismus – oděv. Toto studium zkoumá působení a výskyt mikroorganismů, jež jsou běžné na lidské pokožce, a působení chemických látek, které jsou obsaženy v materiálech ochranného zásahového obleku.

Komfort při nošení ochranného zásahového obleku a jeho vnímání může být ovlivněno působením toxických (patofyziologických) vlivů, které jsou následkem působení vytvořených mikroorganismů, což jsou bakterie a plísňe. Působení těchto mikroorganismů na lidský organismus je rozdílný, jednak každý jedinec má jinak odolnou pokožku vůči účinkům různých chemických látek, které se mohou nacházet v textiliích, ale také závisí na podmínkách růstu těchto mikroorganismů, které se běžně vyskytují. Oblast zkoumání

těchto vlivů se v tomto případě zužuje na povrch lidského těla a vnitřní stranu ochranného zásahového oblečení.

Působení oděvu dlouhodobě, ale i krátkodobě na pokožku člověka může způsobit kožní onemocnění (dermatózu).

Před použitím funkčního prádla konečnými zákazníky, kterými jsou v tomto případě hasiči, je testováno širokým spektrem zkoušek, které jsou dané příslušnými normami. Po každé testovací sérii se výsledky hodnotí dle daných norem. Všechny zkoušky se vyhodnocují na základě jejich výsledků se může zlepšovat komfort a funkční vlastnosti. Veškerí výrobci zabývající se výrobou speciálního funkčního prádla pro hasiče se snaží jít s výzkumem a technologiemi kupředu a dopomoci tak ke zlepšení vlastností prádla a zároveň snižovat dopady mikroorganismů na zdraví, čímž je docilováno převážně speciálními antibakteriálními úpravami plošných textilií nebo přímo při výrobě speciálních vláken. [5]

## 2.3 Nehořlavost materiálů

Aby u materiálu došlo k procesu hoření, je nutné, aby splňoval 3 dané základní podmínky tj. materiál uvolňující hořlavé plyny, dostatečný zdroj tepla a kyslík. Dále materiál může některými svými fyzikálními vlastnostmi proces buď zrychlit či zpomalit, můžeme sem zařadit tepelnou vodivost, tepelnou kapacitu, měrnou hmotnost a bod tání.

U materiálů se většinou sledují 3 veličiny:

čas do zapálení

teplota vzplanutí

teplota samovznícení

Časem do zapálení se rozumí čas, který je potřebný pro začátek hoření od kontaktu se zdrojem tepla, přičemž záleží na následujících faktorech, jež tento čas mohou ovlivnit:

- dostupnost kyslíku
- typ hořlavého materiálu
- rychlost dodávaného tepla
- tloušťka materiálu

U homogenních materiálů tento čas roste s teplotou povrchu při zapálení, dále je závislý na hustotě, tloušťce a tepelné kapacitě. Materiály s rychlejším transportem tepla hoří rychleji a snáze a zároveň je nízká energie, kterou je potřeba dodat ke vznícení.

Jestliže působíme zdrojem hoření na materiál, uvolňují se hořlavé plyny a nejnižší teplotu, která je potřebná k vznícení těchto plynů, se nazývá teplotou vzplanutí. U většiny polymerních materiálů se tato teplota pohybuje okolo 120 až 475°C.

Úzce s teplotou vzplanutí souvisí teplota samovznícení, avšak s tím rozdílem, že zde nepůsobí vnější zdroj hoření. [8]

Tabulka 2.3.1 Teploty vzplanutí resp. samovznícení materiálů [8]

	<b>FIT [°C]</b>	<b>SIT [°C]</b>
Polyetylén	340	350
Polypropylén	320	350
Polystyrén	350	490
Polyvinylchlorid	390	450
Polytetrafluoretylén	560	580
Polyakrylonitril	480	560
Polyamid 6	420	450
Polyamid 66	490	530
Bavlna	210	400

## 2.3.1 Proces hoření textilií a jeho omezení

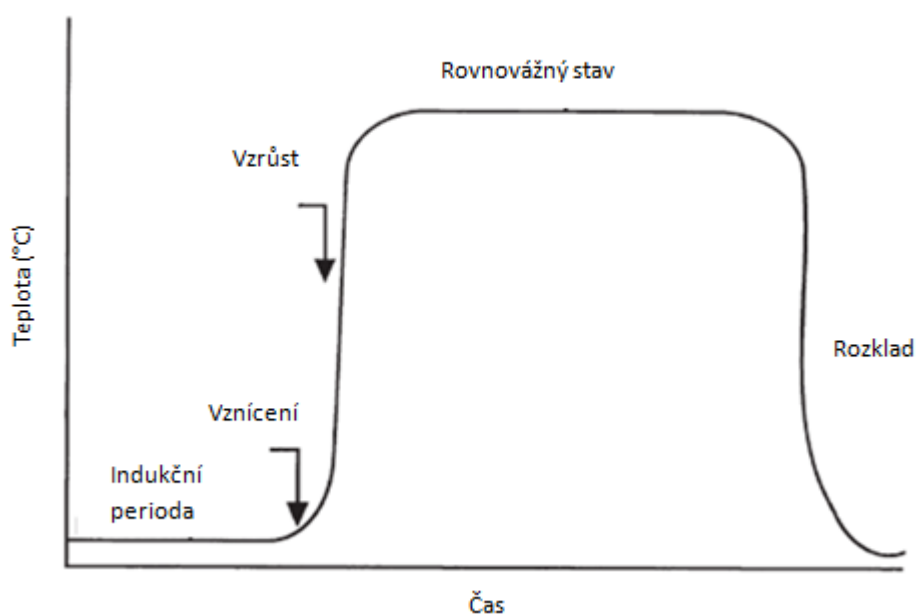
Zápalnost, uvolňování tepla a šíření ohně jsou obecné parametry pro posouzení hořlavosti materiálů. V případě zahřívání textilií s přítomností kyslíku se setkáváme s následujícími procesy:

- vstřebávání tepla a pyrolýza (rozklad na základě tepla)
- uvolňování hořlavých plynů
- vznícení hořlavého plynu
- stoupání tepla hoření



Jako u ostatních materiálů i u textilií hoří pouze uvolňované plyny. Obecně můžeme říci, že čím více je v polymeru vodíkových atomů tím vyšší bude hořlavost, můžeme sem zařadit materiály, jako jsou polyetylén a celulóza. Naproti tomu s nižší hořlavostí se můžeme setkat u polymerů, v nichž jsou obsaženy aromatické články a halogeny.

Hoření jako takové s přihlédnutím na čas má tři fáze. První fázi nazýváme indukční periodou, která zahrnuje doutnání před vznikem plamene, následně prudce stoupá teplota až do fáze druhé, kde se hoření ustálí, zpravidla to bývá mezi 800 – 1000°C. Po tomto ději následně přichází fáze dohořívání.



Obr. 2.3.1.1. Fáze procesu hoření [8]

Při procesu pyrolýzy se uvolňují nehořlavé a hořlavé plyny a zuhelnatělý zbytek. Množství obou těchto plynů se může zvýšit při vyšších teplotách důsledkem pyrolýzy dehtu. Celkové množství tepla nehraje v hořlavosti takovou roli, jako rychlost uvolňování tepelné energie.

Konvenční vlákna mohou být různě hořlavá, na těchto vláknech můžeme snížit hořlavost pomocí zušlechťování, v případě přírodních vláken tuto úpravu můžeme zajistit pouze zušlechťováním. V případě vláken vyráběných chemicky, můžeme hořlavost zamezit přidáním nehořlavé sloučeniny do roztoku či taveniny před zvlákňováním. U těchto vláken lze nehořlavost zajistit i kombinací.

Jestliže na textilie působí teplo může se změnit jak z pohledu fyzikálního (např. změna stavu v důsledku překročení teploty tání), tak chemického (např. uvolňování různých druhů plynů) s různou rychlostí. Obecně můžeme za nehořlavé materiály pokládat takové, jež mají hodnotu LOI větší než 25. Vlákná mající LOI vyšší než 27 jsou nehořlavá na vzduchu a od LOI 21 můžeme mluvit o vláknech se sníženou hořlavostí. Některé materiály, popř. úpravy materiálů vedou k tzv. samozhášivosti, což znamená, že 1-2 s po odstranění styku s přímým plamenem přestávají hořet.

Tabulka 2.3.1.1. Hodnoty LOI pro různá vlákna [8]

Klasifikace	Vlákno	LOI	( <i>T<sub>m</sub></i> ) resp, ( <i>T<sub>R</sub></i> )
Nehořlavá	Sklo	nehoří	800
Tepelně odolná	Nomex	30	400
	Novoloid (Kynol)	30 - 40	350
	Teflon (PTTFE)	95	327
	Uhlíková vlákna	> 60	-
	Polybenzimidazol	41	450
	Polyfenylénsulfid	34	285
Odolná vůči hoření	Modakrylová	27-31	160-190
	Nehořlavý PES	28-32	259
	Kevlar	28	480
	PVC (Vinyln)	35 - 37	210
	Bavlna	17 - 19	-
	PP	19 - 20	164 - 170
	Nylon	20 - 22	256
	Polyester	20 - 22	258
	Vlna	24 - 26	-
	Akrylová vlákna	20	rozklad
	Viskóza	17 - 19	-

Dělení textilií dle reakce na oheň je následovné:

- nehořlavé – kovy, keramika, azbest, sklo a anorganická vlákna
- odolávající vysokým teplotám – uhlíková vlákna a speciální organická vlákna

- omezeně hořlavé – vlna a materiály upravené nehořlavou úpravou

Tabulka 2.3.1.2 Teplota zapálení vláken [8]

Vlákno	Teplota zapálení [°C]
Bavlna	400
Polyester	510
Triacetát	540
Akrylové	560
Polypropylén	570
Vlna	600
Ba/PES	-

Většina syntetických vláken má omezenou schopnost šíření plamene, což se nedá říci o tepelné vodivosti, proto jsou některé nehořlavé materiály pro určité použití nevhodné. Např. aramidová vlákna mají vysokou tepelnou vodivost. Některé silnější termoplastické textilie se vyznačují tvorbou zuhelnatělé vrstvy na povrchu, čímž zamezí šíření plamene.

Do omezeně hořlavých materiálů můžeme zařadit textilie, u kterých je hoření zabráněno nehořlavou úpravou, mnohdy jsou tyto textilie vydávány za nehořlavé. Tato úprava pak může ztrácet na účinnosti vlivem praní.

Textilní materiály můžeme rozdělit do následujících skupin dle chování při hoření:

- materiály běžně hořlavé na vzduchu (přírodní vlákna celulóзовého charakteru, popř. jejich směsi)
- materiály omezeně hořlavé (vlna a její směsi, modakrylová vlákna, FRviskóza)
- materiály nesnadno hořlavé a odolné teplotám do 500°C (aromatické polyamidy, polyvinylchloridy, polyamidy, polyfenylénsulfidy a další)
- materiály nehořlavé a odolné teplotám pohybujícím se okolo 1000°C (uhlíková, skleněná, keramická, kovová, atd.)

Daleko snáze a rychleji hoří textilie obsahující více kyslíku než textilie hustšího charakteru. Při hoření textilií oheň stoupá vzhůru díky uvolňovaným hořlavým plynům. Hoření materiálů můžeme omezit několika způsoby:

- ochlazení povrchu textilií (pomocí chemických sloučenin, které potřebují více tepla k rozkladu a tím textilií ochladí)
- vytvoření izolující vrstvy (vytvoření tepelně izolační vrstvy zabraňující průchodu kyslíku k vláknům)
- tvorba zuhelnatělých zbytků (zuhelnatělé zbytky tvoří izolační vrstvu na povrchu a zabraňují tak dalšímu šíření hoření)
- ředění hořlavých plynů (některé sloučeniny při degradaci uvolňují nehořlavé plyny, které ředí právě ty hořlavé)
- omezení uvolňování hořlavých plynů (jde o proces snižování velikosti částic)

Hoření tedy můžeme omezit buď ve fázi plynné, kdy se zaměřujeme na ovlivnění plamene a hořlavých plynů, u toho omezování však často nastávají problémy ekologického charakteru, nebo ve fázi pevné, kde se zabýváme vlastním rozkladem materiálu. [8]

## 2.3.2 Požadavky na ochranné nehořlavé textilie

Omezení hořlavosti podléhá především účelu, za kterým se daný materiál vyrábí, přičemž je snaha o co největší zamezení tvorby toxických plynů a negativnímu ovlivnění komfortu. Např. v oděvním průmyslu se bude jednat o odolnost proti zapálení vlivem hořící sirky či cigarety. I díky použití těchto materiálů došlo k výraznému snížení počtu požárů nábytkových textilií.

Výběr materiálu však vždy musíme přizpůsobit způsobu použití, resp. jakému teplu by měl materiál odolávat. Šíření tepla můžeme rozdělit na tři typy, buď se může šířit kontaktem z tělesa na těleso (kondukcí) nebo přestupem vzduchem (konvekci) či sáláním z teplých materiálů. Může nastat i taková situace, kdy je potřeba ochránit nositele, proti všem těmto typům, s tím se můžeme setkat například ve slévárnách. Následně však vyvstává problém s odvodem tepla od okolí, s prodyšností a transportem vlhkosti, čímž je zapříčiněna ztráta komfortu. Z tohoto důvodu se začaly vyvíjet takové textilie, které zajišťují jak komfort, tak jsou alespoň částečně nehořlavé. Můžeme sem zařadit například materiály obsahující ve směsi viskózová vlákna typu FR.

Hořlavost materiálů vyráběných z polymerů můžeme snížit pomocí modifikace jejich chemické struktury. V případě, že se jedná o vlákna přírodní, můžeme snížit hořlavost pomocí tzv. nehořlavé úpravy.

Náročnost na odolnost vůči teple přímo roste účelu, pro který je materiál vyráběn respektive jde především o druh působení tepla a doby tohoto působení. U oděvů pro požárníky musí být oděv především odolný při přímém styku s plamenem. Textile používané v oděvním průmyslu, na které jsou kladeny nároky na zvýšenou nehořlavost, musí na jedné straně splňovat dobré tepelně izolační vlastnosti, na straně druhé však musí zůstat zachován standardní komfort.

Všechny ochranné textilie u hasičů musí splňovat všechny výše zmíněné požadavky od ponožek přes spodní prádlo až k ošacení svrchnímu. V případě řešení této problematiky u technických textilií se nemusí ohlížet na zachování komfortu.

Ještěže začneme řešit snižování hořlavosti textilií, musíme se zaměřit na vlastnosti textilních vláken. Základní vlastnosti ovlivňující hoření jsou:

- jak snadno lze materiál zapálit,
- při vzniku plamene rychlost jeho šíření,
- rychlost jakou se uvolňuje teplo,
- srážení závislé na teple,
- zda tavenina odkapává,
- struktura zbytku po hoření,
- zda materiál při hoření emituje kouř,
- zda materiál emituje toxické plyny.

Na základě sledování výše uvedených vlastností pak můžeme zvolit optimální způsob snížení hořlavosti. Ovšem u textilií používaných pro ochranné oděvy, které musí odolávat vysokým teplotám a přímému působení plamene, se musí sledovat ještě následující parametry:

- závislost chování při hoření na tvaru oděvu a struktuře dané textilie
- množství přiváděného tepla
- jaký bude pravděpodobně přístup kyslíku ke zdroji plamene

Největším problémem při použití nehořlavé úpravy je negativní ovlivnění omaku a barevného odstínu, proto se musí při výběru materiálu sledovat požadované stálosti, dále pak jak materiál zatěžuje životní prostředí a jakým způsobem je omezena hořlavost. Můžeme se setkat s případem, kdy při omezení hořlavosti je zvýšena toxicita uvolňovaných zplodin při hoření. [8]

## 2.3.3 Popis metodiky hodnocení hořlavostních charakteristik

Hořlavostní charakteristiky byly posuzovány na přístroji M233B dle evropské normy ČSN EN ISO 15025 (832750) Ochranné oděvy – Ochrana proti teplu a ohni – Metoda zkoušení pro omezené šíření plamene.

Tato mezinárodní norma specifikuje metodu pro stanovení vlastností při omezeném šíření plamene svisle orientovaných textilií a průmyslových výrobků ve formě jednoduchých nebo vícesložkových textilií, když jsou vystaveny malému definovanému plameni. Tato metoda není vhodná pro materiály, jež vykazují rozsáhlé tavení nebo srážení.

Materiály, které nehoří k horním nebo svislým hranám menšího zkušební vzorku použitého v této zkoušce může být klasifikován jako výrobek s omezeným šířením plamene.

Tato metoda hodnotí vlastnosti textilií při chování na krátkodobý kontakt s malým plamenem za řízených podmínek. Vliv švů na chování výrobků může být stanoven touto metodou, šev je umístěn uvnitř zkušební vzorku tak, jak je vzorek zkoušen plamenem.

Důležité termíny a definice:

- doba působení plamene – doba, po kterou působí plamen na zkušební vzorek,
- doba dohořívání plamenem (trvání plamene) – doba, při které materiál hoří plamenem při předepsaných podmínkách zkoušky, když byl po vznícení odstraněn zdroj plamene (doba dohořívání plamene je měřena na nejbližší sekundu a doby dohořívání plamene kratší než 1,0 s by měly být zaznamenány jako nula),
- dohořívání žhnutím – přetrvávání bezplamenného hoření materiálu po odstranění zdroje zapálení za předepsaných podmínek zkoušky a zastavení žhnutí nebo uhasnutí plamene (dohořívání žhnutím je pokračování spalování s vývojem tepla a světla, ale bez plamene. Některé materiály pohlcují teplo

během působení plamene a pokračují vyzařováním tohoto pohlceného tepla po odstranění zapalovacího plamene. Toto žnutí bez hoření by nemělo být zaznamenáno jako dožeh),

- doba dohořívání žnutím (trvání dohořívání žnutím) – doba, při které materiál pokračuje v dohořívání žnutím při předepsaných podmínkách zkoušky, po zastavení hoření nebo po odstranění zdroje zapálení (doba dohořívání plamenem je měřena na nejbližší sekundu a doby dohořívání plamenem kratší než 1,0 s by měly být zaznamenány jako nula),
- zuhelnatělý zbytek – vznik křehkého zbytku materiálu, když je vystaven působení tepelné energie,
- odpadlá částice – materiál oddělený ze vzorku během zkušebního postupu a padající ze vzorku, který nehoří plamenně,
- plamenně hořící částice – materiál, který po oddělení ze vzorku při zkušebním postupu zapálí filtrační papír,
- otvor; díra – otvor vzniklý ve zkoušeném vzorku o rozměru alespoň 5 mm a mající souvislý obvod způsobený tavením, žnutím nebo plamenným hořením.

Princip: Definovaný plamen z předepsaného hořáku se nechá působit 10 s na povrch nebo spodní hranu vzorků textilie, které jsou orientovány svisle. Zaznamenává se rozšíření plamene a dohořívání plamenem, tvar odpadlé části, plamenné hoření odpadlé části, nebo otvor. Doba dohořívání plamenem a doba dohořívání žnutím se zaznamená.

Hořící materiály mohou vyvíjet kouř a toxické plyny, které mohou působit na zdraví osob provádějících zkoušky.

Mezi zkouškami by mělo být ze zkušebního prostoru, který má mít přiměřené rozměry, odsáváno ovzduší ventilátorem nebo jiným způsobem zajištěno větrání, aby nemohlo působením kouře a dýmu dojít k ohrožení zdraví osob provádějících zkoušky. K provedení zkoušky by měl být použit plyn obchodní čistoty, buď propan nebo butan nebo směs butan/propan.

Zkušební zařízení se sestává z materiálu, na který nesmí nepříznivě působit dýmy a je odolný vůči teplu a plameni (zplodiny hoření jsou korozivní). Zařízení má mít ve svém okolí dostatečné množství vzduchu, aby nedocházelo ke snížení koncentrace kyslíku.

Části, z nichž se sestává zkušební zařízení:

- držák zkušební vzorku – jeho konstrukce umožňuje udržet zkušební vzorek a

plynový hořák v určené vzájemné poloze, sestává se z kovového pravoúhlého rámu, který je opatřen přidržovacími hroty v každém rohu obdélníku o délce 190 mm a šířce 150 mm, přidržovací hroty zkušební vzorku mají průměr  $(2 \pm 0,5)$  mm a délku  $(25 \pm 1)$  mm, rozpěrka slouží k umístění rovného zkušební vzorku,

- plynový hořák – má možnost se pohybovat z pohotovostní polohy, při které je vrchol hořáku nejméně 75 mm od zkušební vzorku, do vodorovné nebo nakloněné pracovní polohy a naopak,
- šablona – rovná, tuhá zhotovená z vhodného materiálu a ve velikosti odpovídající velikosti vzorku
- zařízení na měření času – jedno zařízení na měření času k ovládání a měření doby působení plamene, které lze zastavit v 1 s intervalech s přesností 0,2 s nebo lepší, druhé zařízení na měření času s přesností odečítání 0,2 s nebo lepší; je požadováno k měření doby dohořívání plamene a/nebo doby dohořívání žhnutím.
- Tato zařízení se spouští nejlépe automaticky, v okamžiku zhasnutí plamene nebo jeho oddálení, a zastavuje se ručně,
- filtrační papír – musí mít předepsané vlastnosti.

Počet zkušebních vzorků: pomocí šablony se označí dvě sady zkušebních vzorků po třech vzorcích. U tkanin/pletenin nebo podobných materiálů se vzorky orientují tak, aby osa šablony byla v podélném a příčném směru daným při jeho výrobě. Poloha značky, kterou musí projít hroty na držáku zkušební vzorku, se provede pomocí otvorů v šabloně. Velikost zkušební vzorku je dána rozměry  $(200 \pm 2)$  mm x  $(160 \pm 2)$  mm.

Zkušební podmínky: Zkoušky musí být provedeny v ovzduší o teplotě mezi 10°C a 30°C, relativní vlhkosti mezi 15 % a 80 %, a s prouděním vzduchu nižším než 0,2 m/s při zahájení zkoušky každého zkušební vzorku. Proudění vzduchu nesmí být ovlivněno mechanickými zařízeními, která jsou v činnosti během zkoušky.

Postup zapálení povrchu: Při umístění zkušební vzorku na hroty držáku vzorku se ověří, zda hroty projdou body označenými pomocí šablony, a že vzorek je nejméně 20 mm vzdálen od kovového obdélníkového rámu držáku zkušební vzorku. Hořák se umístí kolmo vzhledem k povrchu zkušební vzorku tak, že se osa hořáku nastaví 20 mm nad spojnicí spodních hrotů a se svislou osou přední strany zkušební vzorku. Je nutné



ověřit, že vzdálenost vrcholu stabilního hořáku od povrchu zkušební vzorku je  $(17 \pm 1)$  mm.

Hořák se nastaví do svislé pohotovostní polohy. Hořák se svítivým plamenem se předehtívá po dobu nejméně 2 min. Pak se přesune do vodorovné pohotovostní polohy a upraví se vodorovný dosah plamene na vzdálenost  $(25 \pm 2)$  mm měřenou od konce hořáku ke špičce žluté části plamene. Plamen se pozoruje proti tmavému pozadí. Dosah plamene musí být kontrolován před každou zkouškou sady šesti zkušebních vzorků. Pokud přístroj nemá vodorovnou pohotovostní polohu, pak je nutné odstranit zkušební vzorek před nastavením plamene. Zkouška všech šesti vzorků se provede během 10 min od ukončení předehtivacího postupu a nastavení plamene.

Postup zapálení dolní hrany: Připevnění zkušební vzorku je totožné jako u postupu zapálení plochy. Poloha hořáku se nastaví před zkušební vzorek, ale v poloze pod vzorkem tak, aby se vzorek nacházel v rovině, která prochází svislou osou zkušební vzorku.

Tato rovina je kolmá k podélné ose, která je skloněna o  $30^\circ$  ke svislé dolní hraně. Ověří se, zda vzdálenost mezi vrcholem stabilního hořáku a dolní hranou zkoušeného vzorku je  $(20 \pm 1)$  mm.

Hořák se nastaví do svislé pohotovostní polohy. Hořák se svítivým plamenem se předehtívá po dobu nejméně 2 min. Pak se přesune do vodorovné pohotovostní polohy a upraví se vodorovný dosah plamene na vzdálenost  $(40 \pm 2)$  mm měřenou od konce hořáku ke špičce žluté části plamene. Plamen se pozoruje proti tmavému pozadí.

Hořák se přesune z pohotovostní polohy do šikmé pracovní polohy. Ověří se, zda dolní hrana zkoušeného vzorku pŕl plamen.

Filtrační papír o rozměrech alespoň  $(150 \times 100)$  mm musí být umístěn na vodorovném pevném povrchu o rozměrech  $(50 \pm 5)$  mm na dolní hraně vzorku se středem filtračního papíru pod osou zkušební vzorku.

Zkoušení zapálení povrchu a plochy: Na nastaveném zařízení se vzorek umístí do držáku zkušební vzorku. Pro materiály z tkaniny/pleteniny se zaznamená, zda je ve směru daném z výroby nebo příčně k tomuto směru a zda je ve svislé poloze.

Vystaví se zkoušce plamenem po dobu 10 s a provádí se pozorování a zaznamenává se:

- zda plamenné hoření postoupí k horní hraně nebo ke kterékoliv ze dvou svislých hran zkoušeného vzorku,

- doba dohořívání plamene,
- zda se dohořívání plamenem rozšíří mimo oblast plamene (obvykle zuhelnatělá oblast) do nepoškozené oblasti,
- doba dohořívání žhnutím,
- výskyt odpadlé částice,
- zda odpadlá částice zapálí filtrační papír (plamenně hořící částice), pokud to přichází v úvahu,
- zda se objeví díra.

Na zbývajících pěti zkušebních vzorcích se opakují postupy se stejným povrchem na všech zkušebních vzorcích vystavených plamenu.[25]

Vyhodnocení hořlavostních charakteristik bylo prováděno dle evropské normy ČSN EN ISO 14116 (832751) – Ochranné oděvy – Ochrana proti teplu a ohni – Materiály a sestavy materiálů s omezeným šířením plamene. Tato mezinárodní norma stanovuje funkční požadavky na vlastnosti materiálů, sestavy materiálů a ochranné oděvy určené pro omezené šíření plamene, za účelem snížení možnosti hoření oděvu a tím i snížení rizika způsobeného samotnými materiály. Klasifikace se provádí na základě výsledků měření dle normy ČSN EN ISO 15025 a materiál se zařadí dle příslušných požadavků na jednotlivé indexy.

Požadavky pro index omezeného šíření plamene 1 (tyto materiály nesmí být nošeny přímo na pokožce):

- šíření plamene – Na žádném zkušebním vzorku nesmí jakákoliv část spodního okraje plamenně hořící části nebo vzniklého otvoru dosáhnout horního nebo svislého okraje,
- plamenně hořící částice – ze žádného zkušebního vzorku se nesmí uvolňovat plamenně hořící částice,
- dohořívání žhnutím – dohořívání žhnutím se nesmí zuhelnatělé plochy šířit na nepoškozenou plochu.

Požadavky pro index omezeného šíření plamene 2:

- šíření plamene – Na žádném zkušebním vzorku nesmí jakákoliv část spodního okraje plamenně hořící části nebo vzniklého otvoru dosáhnout horního nebo

svislého okraje,

- plamenně hořící částice – ze žádného zkušební vzorku se nesmí uvolňovat plamenně hořící částice,
- dohořívání žhnutím – dohořívání žhnutím se nesmí zuhelnatělé plochy šířit na nepoškozenou plochu
- vznik otvorů – v žádném ze zkušebních vzorků se nesmí vytvořit žádný otvor.

Požadavky pro index omezeného šíření plamene 3:

- šíření plamene – Na žádném zkušebním vzorku nesmí jakákoliv část spodního okraje plamenně hořící části nebo vzniklého otvoru dosáhnout horního nebo svislého okraje,
- plamenně hořící částice – ze žádného zkušební vzorku se nesmí uvolňovat plamenně hořící částice,
- dohořívání žhnutím – dohořívání žhnutím se nesmí zuhelnatělé plochy šířit na nepoškozenou plochu
- vznik otvorů – v žádném ze zkušebních vzorků se nesmí vytvořit žádný otvor,
- dožeh – doba dožehu každého jednotlivého vzorku nesmí přesáhnout 2 s.[26]

## 3 Omezení hořlavosti – ohnivzdorná vlákna

Z pohledu výroby lze ohnivzdorná vlákna klasifikovat do dvou typů :

- z organických polymerů
- z anorganických polymerů

### 3.1 Ohnivzdorná vlákna z organických polymerů

#### 3.1.1 Aromatická polybenzoxazolová vlákna (PBO)

V současné době existuje pouze jediný komerční příklad PBO vláken, Zylon. PBO vlákna charakterizuje mimořádně vysoká tepelná stálost (LOI 68), tuhost a tahová pevnost. Zylon má nejvyšší tahovou pevnost mezi všemi známými syntetickými vlákny, má téměř dvojnásobnou tahovou pevnost běžných paramidových vláken. V důsledku svého vysokého LOI má PBO dvojnásobné ohnivzdorné vlastnosti m-aramidových vláken. Tahová pevnost je 10x vyšší než u oceli a asi 2x než u paramidu (Kevlaru). Absorpce nárazové energie je dvojnásobná než u p-aramidu, velmi dobrá je i odolnost chemická a proti oděru.

Vlákno vyrábí firma Toyobo Co. Ltd., Osaka/Japonsko od r. 1998. [10]

#### 3.1.2 Polybenzimidazolová vlákna (PBI)

Polybenzimidazol je organické vlákno s výbornými vlastnostmi tepelné odolnosti a dobrým omakem. PBI nehoří na vzduchu a netaví se ani neodkapává. Má rovněž vysoké LOI, která spolu s jeho dobrou chemickou odolností a dobrou zadržuje vlhkosti činí z PBI výborné vlákno pro konečná použití zabraňující požárům. Proto je využíváno při konstrukci bezpečnostních a ochranných oblečení a ohnivzdorných textilií. Významný úspěch měl PBI na trhu oděvů pro hasiče, směsovaný v manipulaci 60 % p-aramid/40 % PBI. [10]

Našel použití v u širokého sortimentu vysokoteplotních aplikací - obleky astronautů NASA, chemické ochranné uniformy v leteckých silách, blokátory letadlových sedadel, vysokoteplotní rukavice slévačů, izolace raketových motorů, matricová pryskyřice vysokoteplotních kompozitů pro dotykové raketové hlavice, kryty radarových antén,

membrány u vysokoteplotních palivových článků.

Jeho nevýhodou jsou relativně nízké fyzikální vlastnosti, tohoto nedostatku lze však dobře eliminovat velmi dobrou schopností směšovat se s ostatními textilními materiály, především uhlíkovými a aramidovými vlákny. Další nevýhodou je velmi vysoká cena.

Mezi největší přednosti PBI vláken patří velmi vysoká maximálně dovolená pracovní teplota ve vzduchu (310°C nepřetržitě, jdoucí až do 500°C při krátkých časových periodách), vynikající udržení mechanické pevnosti, tuhosti a odolnosti proti tečení v širokém rozsahu teplot, dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti.

I tato vlákna mají velmi dobrou ohnivzdornost díky jejich vysokému LOI. Výroba vláken byla odstartována v r. 1983 v USA firmou Celanese. [10]

### 3.1.3 Polyfenylénsulfidová vlákna (PPS)

Polyfenylénsulfidová vlákna kombinují mírnou teplotní odolnost s výbornou chemickou odolností. Díky vysokému LOI mají i dobrou ohnivzdornost. Jejich rozšíření v ochranném odívání však brání nízká schopnost zadržovat vlhkost a jejich nepříjemný omak. Velice dobrá chemická odolnost je činí však atraktivní pro technické aplikace, především pro filtrační účely. Lze je využívat při nepřetržité teplotě 191°C s krátkou expozicí k 201°C (do projevení degradace). Pomocí dodatečného tepelného zpracování lze dosáhnout termosetové struktury. Při zpevnění skleněnými vlákny je odolné až vůči teplotám do 240°C a vhodné k použití v produktech elektrotechnického a automobilového průmyslu. Časté použití je ve formě upravené plsti. Ve tkané podobě se používají pro dopravníky, nátravníky, nafukovací haly.

Mají výbornou chemickou a hydrolytickou odolnost vůči kyselinám, zásadám a organickým rozpouštědlům. Nevedou se však dobře v přítomnosti oxidačních činidel (bróm).

PPS jsou klasifikována jako nehořlavá. Splňují "Stupeň ohnivzdornosti NASA" R4 a LOI 35. [10]

### 3.1.4 Aramidová vlákna

První aramidové vlákno (založené na mfenylen-isoftalamidu - MPD-I), bylo pod

obchodním názvem Nomex komerčně zavedeno firmou DuPont v r. 1961. Další aramidové vlákno o vysoké pevnosti a mimořádně vysokém modulu (založené na poly-p-benzamidu) bylo touto firmou experimentálně uvedeno v r. 1970. Zdokonalená verze tohoto vlákna (založená na poly-p-fenylen-tereftalamidu, PPD-T) vyznačující se dvojnásobnou pevností dostalo obchodní název Kevlar.

Na začátku 70. let zavedla též v Japonsku firma Teijin aramidové vlákno Conex složené na stejné bázi jako je složení Nomexu.

Vynikají podstatně vyšší tepelnou stálostí aromatických materiálů, zanedbatelnými srážlivostmi jak při vysoké teplotě na vzduchu ( $< 0,1\%$  při  $177^{\circ}\text{C}$ ), tak v horké vodě ( $< 0,1\%$  při  $100^{\circ}\text{C}$ ). Jestliže aramidy vystavíme plameni, vytvářejí velké množství uhlí, s relativně malými množstvími vznětlivých fragmentů uvolňovaných do plynné fáze. Tím jsou dosahovány LOI 28,5-29 a relativně nízké procento uvolňování toxických plynů během rozkladu. [10]

### 3.1.5 Meta-aramid

Je nejrozšířeněji používaný a nejvíce známý z aramidových vláken, především pro svou kombinaci tepelné vodivosti a pevnosti. Příčinou jejich úspěchu v segmentu nehořlavých oděvů jejich nezapalitelnost, netaví se a neskápávají. I při zvýšených teplotách dlouhodobě uchovávají své mechanické vlastnosti a mají relativně měkký omak. Poskytují možnost zpracování podobnými způsoby jako běžná vlákna a získávají tak možnost uplatnění v sortimentu výrobků ve směsích s ostatními vlákny.

Zástupci těchto vláken jsou již zmíněný NOMEX a TEIJIN CONEX HT

Nomex se vyznačuje vynikající tepelnou a nehořlavou odolností, mechanickou tuhostí a neztrácí textilní vlastnosti. Umožňuje široké použití od technických povrstvených textilií, přes filtry až po elektrické izolace, kde zajišťuje vysokou spolehlivost v žádaných parametrech.

Teijin Conex předčí ostatní metaaramidová vlákna vyšší tahovou pevností, čímž vyplňuje mezeru mezi meta- a paraamidovými vlákny. [10]

### 3.1.6 Para-aramid

Teploty použití jsou u para-amidových vláken totožné jako u metaaramidových,

mají však 3-7 krát vyšší pevnost a modul, tedy ideální materiál pro materiály zpevňovacího a ochranného určení. Mají též vysokou pevnost, vysokou tepelnou odolnost a vysoký tahový modul. Určitý problém však vyvstává v jejich chemické odolnosti - relativně slabé odolnosti proti silným kyselinám a zásadám. Některá z nich se nemohou bělit chlorem (Kevlar a Twaron), problematické jsou i při užití při zacházení s potravinami (pro ochranné rukavice). Para-aramidy se často směsují s ostatními vlákny, kterým propůjčují některé ze svých vysokopevných vlastností.

Např. nejrozšířeněji používaným materiálem pro výrobu obleků pro hasiče je směs 60 % Kevlaru / 40 % PBI (Kevlar kompenzuje některé „textilních“ nedostatků - zpracování, pevnost - u PBI, naproti tomu vysokotepebné vlastnosti PBI – měkkost, udržení vlhkosti - zlepšují výkonnostní charakteristiky Kevlaru. Tato kombinace též zvyhodňuje cenu jinak drahého PBI vlákna.

Směsí vysokovýkonných vláken, kdy jedno vlákno přispívá svými unikátními vlastnostmi ke zlepšení užitných hodnot speciálních materiálů, příp. zlepšení zpracovatelnosti nebo snížení nákladů, se u tohoto typu vláken běžně využívá.

Zástupcem paramidových vláken jsou Kevlar, Twaron (homopolymerní typ), Technora (kopolymerní typ).

Nejvýznačnější z kdy vyvinutých organických vláken je Kevlar. Vyvinula jej firma DuPont a na počátku 70 let zavedla do výroby. Od té doby díky svým pozoruhodným kombinačním vlastnostem si našlo využití v rozmanitých technických oblastech. Pomáhá přetvářet běžné výrobky do výrobků mimořádných. Je 5x pevnější než ocel při srovnatelné zátěžové hmotnosti, současně je lehký, ohebný a pohodlný. Kombinuje vysokou pevnost s lehkou hmotností a komfort s ochranou.

Charakteristické vlastnosti Kevlaru:

- vysoká pevnost v tahu při nízké hmotnosti
- nízké protažení do přetrhu, vysoký modul (strukturální tuhost)
- ohnivzdornost a samozhášitelnost
- nízká elektrická vodivost
- velmi dobrá rozměrová stálost
- vysoká chemická odolnost

- vysoká odolnost v řezu (stříhu)
- nízká tepelná srážlivost [9,10]

### 3.1.7 PTFE vlákna

PTFE (polytetrafluoretylenová) vlákna jsou velice odolná proti chemikáliím a vysokým teplotám. Jejich teplota tavení je 327°C, vydrží vystavení i extrémně nebezpečným prostředím. Velmi nízký koeficient tření, nejnižší ze všech vláken, jej předurčuje k využití jako náhrady za ložiska. Spolu s nízkou tahovou pevností jej však tato vlastnost činí i obtížně zpracovatelným a obtížně směšovatelným s jinými vlákny.

Využívá se jej především k výrobě šicích nití použitelných pro drsné aplikace, výrobě porézních laminovaných membrán určených pro ochranná použití. Pokrývá se disperzí, impregnuje, lisuje, nánosuje práškově či pastami (hadice). [9,10]

### 3.1.8 PAN (PANOX) vlákna

Jsou oxidovaná tepelně stabilizovaná polyakrylonitrilová vlákna vyznačující se ohnivzdorností. Staly se technickou normou, pokud jde o tepelně odolná vlákna. Nehoří, netaví se, neměkne, nescapává. Hodnoty LOI těchto vláken přesahují 50 % (O<sub>2</sub>), běžně jsou o 5 % vyšší než standardní kvality. Je proto vhodný pro textilie blokující požár – na sedadla v letadlech, vlacích a ostatních dopravních prostředcích, plsti pro motorová vozidla, pro ochranné oblečení pro hasiče, policii, vojsko, oceláře, sportovní řidiče. Nahrazují azbest u třecích spojek, brzd, fungují jako izolační a těsnicí materiál.

Zásadní přednosti Panoxu:

- vysoká tepelná stálost
- vynikající hořlavostní klasifikace (DIN EN 532/533)
- vysoká hodnota LOI
- dobrá zpracovatelnost a směšovatelnost
- fyziologická neškodnost



Zpracovává se do přízí, tkanin, pletenin, netkaných textilií a plstí ve formě kabelu, stříže nebo „mletého“ vlákna. [9,10]

## 3.1.9 Melaminová vlákna

Firma BASF vyvinula melaminové vlákno Basofil podobné termosetovým pryskyřicím. Tím získává obdobné vlastnosti - vysokou tepelnou odolnost a vysokou pracovní teplotu, chemickou odolnost, ohnivzdornost a nízkou hořlavost (vysoké LOI).

Výhodou je nízká cena, nevýhodou těžkosti při zpracování, způsobené zejména nízkou pevností v tahu. Proto se většinou používá Basofil ve směsi s pevnějšími vlákny, např. aramidy.

Je používáno ve výrobcích, funkčně zajišťujících bezpečnost a ochranu před teplem – oblečení a výstroje pro hasiče, dělníky, ale i pro filtrační materiály, potahové látky. Výrobky z nich vyrobené jsou trvanlivé, pohodlné, měkké, dobře se nosí.

Charakteristické vlastnosti Melaninu:

- vysoká tepelná stálost a nízká tepelná vodivost
- nízká hořlavost (vysoké LOI = 32)
- odolnost proti rozpouštědlům
- vysoká kvalita při nošení
- vysoká kontinuálně použitelná teplota (200°C) i maximálně použitelná teplota (260-370°C) [9,10]

## 3.1.10 FR viskóza

Firma Lenzing (Rakousko) s více než 60-ti letou zkušeností s výrobou vysoce kvalitních viskózových vláken (Rakousko) zavedla vysoce kvalitní ohnivzdorné (FR = flame resistant) viskózové vlákno. Spojila v něm bezkonkurenční ochranu a s vysokým komfortem nošení. Proto se těchto přízí používá k výrobě nejbezpečnějších textilií, jakož i nejpříjemnějších k nošení (ochranné oděvy pro průmysl, hasiče, armádu, policii, potahové a nábytkové tkaniny).

Tato vlákna nevynikají jedinečnou ohnivzdorností, ale používají se především pro své komfortní vlastnosti: snížení tepelného zatížení, prodyšnost a řízení vlhkosti.

Výrobní proces je šetrný k životnímu prostředí a odpovídá nejpřísnějším ekologickým požadavkům (ohnivzdorné aditivum se přidává přímo do zvlákněvané hmoty – dřevo – celulóza - vlákno). [9,10]

### 3.1.11 Polyimidová vlákna

Polyimidové vlákno P84 je rovněž vyvinuté firmou Lenzing s multilobálním nepravidelným průřezem. Touto nepravidelnou strukturou je docíleno větší plochy povrchu oproti běžnému kruhovému průřezu. I proto se jej používá ve vysokoteplotních průmyslových filtrech, filtračních výrobcích plynů, emisí, výrobcích chránících před ohněm, ke zpevňování oděvů, těsnících materiálů v kosmických lodích.

Charakteristické vlastnosti polyimidových vláken:

- dobrá chemická odolnost i fyzikální vlastnosti
- nehořlavost (vysoké LOI = 38)

Jeho většímu rozšíření brání vysoká cena. [9,10]

### 3.1.12. Vysokopevnostní polyetylén (UHMPE) (Spectra a Dyneema)

Vlákno bylo vyvinuto holandskou firmou DSM a dodává se pod obchodní značkou Dyneema, v USA Spectra. Jejich hlavní předností je vysoká pevnost jako u aramidů a jsou velice lehká a měkká, na hladině plavou (hustota vlákna je menší než 1). Proto se z nich vyrábějí lana a provazy, neprůstřelné vesty, materiály odolné proti řezu (rukavice, vhodné i pro styk s potravinami).

Charakteristické vlastnosti vysokopevného polyetylenu:

- vysoká pevnost
- velmi dobrá odolnost proti oděru
- nízká hustota vlákna (menší než 1)
- výborná odolnost chemická a elektrická
- lze je bělit i sterilizovat

Nevýhodou jsou nízké body tavení, teplota použití je tak vcelku nízká, 121°C. Jsou také kluzká, obtížně se přilepují. [9,10]

## 3.1.13 Polyoxadiazolová vlákna

Mezi vysokoteplotně odolnými střížemi a nekonečnými vlákny je velký zájem věnován vláknům na bázi polyoxadiazolu. Tato střížová a nekonečná vlákna jsou registrována jako Oxalon, druhá generace tepelně odolných polyoxazolových vláken pod jménem Arselon.

Vedoucí firmou v oblasti technologie těchto vláken je ruská akciová vědeckovýrobní společnost „Tepelně Odolné Textilie“ (NPF Termostoikie Izdeliya).

Mají vysokou tepelnou a tepelně-oxidační stálost, rozměrovou stálost, uchovávají vysokou úroveň mechanických vlastností v širokém intervalu teplot, jsou odolné proti hoření. Polyoxadiazolová vlákna Arselon a Arselon-S mají vysokou uživatelskou tepelnou stabilitu po dlouhou dobu až 250-300°C. Vydrží krátkodobé zahřívání až 300-400°C. Důležitou charakteristikou je mimořádně nízká srážlivost do teplot 350-400°C, která dovoluje, aby materiály byly aplikovány do speciálních tepelně ochranných obleků s uchováváním rozměrů a vlastností při zahřívání.

Jejich stálost k působení otevřeného plamene je charakterizována limitním oxidačním indexem (LOI) 26-29 %, což je dostatečné pro mnoho tepelně odolných textilií, používaných při profesní ochraně i u jiných konečných použití.

Polyoxadiazolová vlákna mají vysokou stabilitu proti tepelným vlivům i působení různých chemikálií. Arselon má vysoký elektrický odpor, dosahuje  $10^{14}$  Ohm.cm.

Stříže a hedvábí Arselonu mají nepatrný žlutý odstín a Arselon-S (se zavedeným světelným stabilizátorem) má středně oranžovou barvu.

Zpracovávají za obvyklých technologických postupů, jak v čistém stavu, tak ve směsích s ostatními běžnými, tepelně či silně ohnivzdorně odolnými vlákny, v poměrech, které poskytují textiliím nutné tepelné vlastnosti. Avšak barvení polyoxadiazolových textilií na bázi Arselonu-S na světlé odstíny má určitá omezení v důsledku standardní oranžové barvy vláken způsobené světelným stabilizátorem.

Jejich využitelnost je v různých textiliích pro: speciální ochranné oblečení, prostředky profesní bezpečnosti a záchranářství, speciální interiéry pro dopravní letadla osob, lodí, automobilů a jiných druhů dopravy, filtrační textilie pro vysokoteplotní plyny a mnohé jiné oblasti. [11]

## 3.2 Ohnivzdorná vlákna z anorganických polymerů

Oproti tradičním vláknům jsou anorganická vlákna tužší, s vyšším bodem tavení, tedy i tepelně i mechanicky odolnější. Bývají naprosto nehořlavá.

Používají se ve formě stříže či jako nekonečná vlákna ve výrobcích vyžadujících vysoké teploty či odolnost proti korozi. Průměr těchto vláken je velice variabilní, může být v rozsahu od 5 do 15 nm, ale i 100 až 150 nm.

Mezi největší jejich nevýhody patří značná křehkost. [9,10]

### 3.2.1 Uhlíková vlákna

Tvoří přechod mezi organickými a anorganickými vlákny, řadí se tak mezi modifikovaná vlákna (modifikace organických vláken nebo organické smoly). Spolu se skleněnými vlákny se staly průkopníky mezi kompozitními materiály.

Ač tato vlákna jsou nazývána grafitová, neodpovídá tento název zcela skutečnosti, neboť tato vlákna nepocházejí z grafitu, ale z tepelných úprav uhlíkových vláken při teplotě vyšší 2000°C, čímž vznikne umístění uhlíkových atomů podobné grafitové struktuře.

Výsledkem je vlákno vysoce elastické formy o vysoké tuhosti s obsahem více než 90 % uhlíku a asi 5% dusíku.

Tato vlákna je možné vyrábět dvěma způsoby:

- přeměnou organických vláken (viskóзовých, akrylových, atd.) - tzv. uhlíková z PAN
- ze zbytků destilátů ropy či dehtu - tzv. uhlíková ze smol

Objevena byla v r. 1879 Edisonem, na trhu se poprvé objevila v 60. letech minulého století. Komerčně jsou vyráběna podle postupu ověřeného Williamem Wattem anglickou firmou Royal Aircraft.

Hojné použití našla v armádě, letectví, automobilovém průmyslu a později i v konfekčních textiliích. [9,10]

## 3.2.2 Keramická vlákna

Materiály používanými obvykle pro výrobu keramických vláken jsou křemík, bor, karbid, zirkon, chrom, thorium a oxidy hliníku. Výsledný produkt vzniká jejich tavením.

Jejich nejpříznačnější vlastností je žáruvzdornost. Používají se při teplotách přes 1000°C, tepelnou odolnost si zachovávají až do téměř 2000°C. Proto nacházejí uplatnění většinou jako tepelné izolace ve speciálních oblastech, kde se předpokládají takto vysoké teploty (např. kosmické lety).

Nezanedbatelné jsou také jejich vysoké mechanické charakteristiky - vysoká tuhost a zachování tvaru i při takto vysokých teplotách. Jsou velice chemicky stálá a odolná proti korozi. Díky tomu se mohou používat u specializovaných součástí, jako jsou plynové filtrace, elektrické, tepelné a akustické izolace, klouby plynových potrubí, zpevňovací kompozity.

Setkat se s nimi můžeme ve formě „vousů“ (velice tenká vlákna, mohou způsobovat dráždění kůže v důsledku pronikání těchto velmi tenkých vláken) nebo silnějších monofilů či multifilů. Přitom platí, čím jsou tenčí, tím jsou pružnější. Ve formě vousů jsou nejodolnější (modul >600 GPa, pevnost >20000 MPa).

Většinou se vyrábějí jako chumáče a řídce jako filamenty. Pro textilní přeměnu je lze používat tehdy, mají-li průměr přes 1 mm (příze, lana).

Vyrábějí se poměrně v malém množství, protože jsou to velice drahá vlákna. [9,10]

## 3.2.3 Bórová vlákna

Bór je kov známý svou mimořádnou odolností a formou. Uhlíková či wolframová vlákna vyráběná z borových mikrogranulí mají trojnásobnou odolnost a dvojnásobnou formu v porovnání s ocelovými vlákny, a to přesto, že se jedná o velmi lehký filament. Jsou též mimořádně odolná k tahu, stlačení a ohybu, mají nízkou hustotu (2,58 g/cm<sup>3</sup>), dobrou odolnost proti kyselinám a zásadám, organickým rozpouštědlům, UV paprskům a mikroorganismům. Nevýhodou je opět jeho vysoká cena daná náročnou a složitou technologií. Vyráběné je firmou Avco/USA. [9,10]

## 3.2.4 Skleněná vlákna

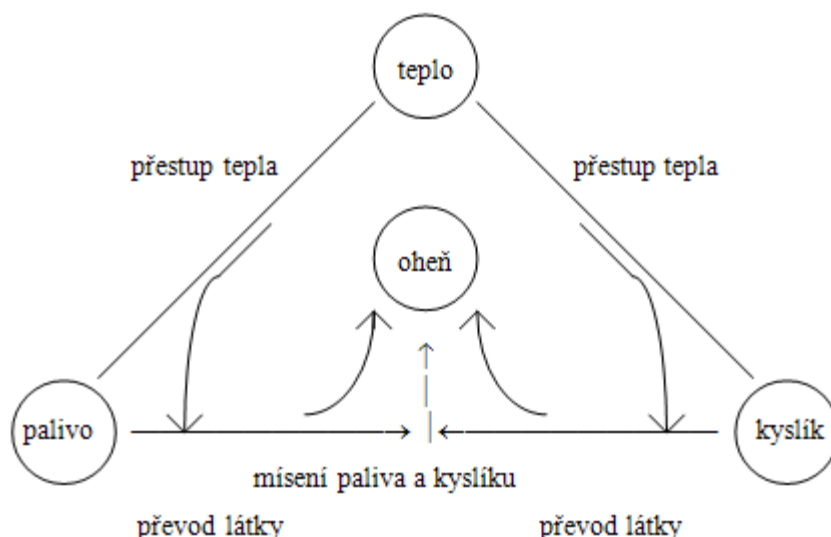
Komerční výroba skleněných vláken se datuje ke sklonku 30. let. Při jejich výrobě se používá oxid křemičitý, oxid vápenatý, hlinitý, boritý a další kovové oxidy. Jejich nejširší uplatnění se nachází v izolacích (domovní i průmyslové), vysokoteplotních filtracích, při zpevňování termoplastických kompozitů ve výrobcích (el. obvody, trupy lodí)

Typy a označení skleněných vláken:

- A: složení skla obsahuje alkálie,
- AR: odolné proti alkáliím pro zpevňování betonu,
- C: chemicky odolné složení skla,
- E: standardní použití, toto složení má vysoký elektrický odpor
- HS: sklo hořečnato-hlinito-křemičité vysoké pevnosti
- S: složení podobné sklu HS [9,10]

## 3.3 Nehořlavá úprava

Přírodní a chemická vlákna běžně vyráběná jsou hořlavé látky, které pro proces hoření potřebují složitou soustavu fyzikálně-chemických dějů, jejíž základ tvoří vývoj tepla chemickou reakcí. V procesu hoření je nejdůležitější teplotní režim, který závisí na dvou rychlostech – rychlosti přívodu tepla, jenž je závislá na zákonech chemické kinetiky a rychlosti odvodu tepla, která je daná fyzikálními a chemickými vlastnostmi reagující soustavy a okolí. Můžeme říci, že proces hoření je ovlivněn třemi faktory – teplem, palivem a kyslíkem. Jejich interakci můžeme vidět na níže uvedeném obrázku.



Obr. 3. 3. 1 Schéma procesu hoření [12]

Jestliže chceme, aby podmínky procesu hoření byly ustálené, musí tvorba tepla vyrovnat ztráty tepla do okolí a také spotřebu tepla vzniklou pyrolýzou paliva.

Samostatné hoření materiálu po zapálení závisí na jeho energetické bilanci. Při hoření textilních vláken rozlišujeme dva procesy, proces, při kterém se energie spotřebovává a proces, při kterém se energie uvolňuje.

Hoření u materiálu nastává, jestliže uvolněná energie je větší než spotřebovaná energie, při opačném stavu, kdy uvolněná energie je menší než spotřebovaná energie, pak je materiál nehořlavý nebo samozhášející.

Podle těchto reakcí můžeme materiály rozdělit do tří skupin vláken dle hořlavosti, a to na vlákna hořlavá, u kterých hoření neustává po vyjmutí z plamene, například sem můžeme zařadit bavlnu, len, viskózu, polyakrylonitril; další skupinou jsou vlákna samozhášející, která jsou specifická tím, že po vyjmutí z plamene přestanou hořet, jedná se například o vlnu, přírodní hedvábí, polyester, polyamid, modakrylová vlákna, polypropylen; poslední skupinu tvoří vlákna nehořlavá, která nehoří, po vyjmutí z plamene ihned zhasnou, popřípadě se pouze taví, specifická vlákna pro tuto skupinu jsou polyvinylchlorid, pentadecylkatechin, oxidovaná polyakrylonitrilová vlákna.

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují hořlavost textilních materiálů, jedná se především o chemické složení výchozí látky, kde jde především o obsah uhlíku, vodíku a kyslíku; dále o fyzikální vlastnosti látky, jako je sráživost, tavitelnost, atd.; a geometrickou

strukturu textilie, což je jemnosti přízí, plošná hmotnost, dostava, atd.

Pro vyhodnocení nehořlavosti materiálů a nehořlavých úprav se používá limitní kyslíkové číslo LKČ, obecně známé pod zkratkou LOI (Limiting Oxygen Index), LOI udává nejnižší množství kyslíku ve směsi s dusíkem (v %), které ještě umožňuje hoření látky při daných podmínkách zkoušky, což znamená, že jestliže máme nízkou hodnotu LOI, tak daná látka je schopna hoření i při malé koncentraci kyslíku ve směsi.

Hořlavost textilií můžeme omezit zpravidla dvěma způsoby, můžeme použít vlákna, která mají sníženou hořlavost a jestliže máme hořlavá vlákna, například bavlnu, viskózu apod., řešením je nehořlavá povrchová úprava.

Nehořlavá úprava se dělá zpravidla v zušlechťovacím procesu, kde se používají různé druhy retardérů hoření, které se vybírají dle vlastností upravovaného materiálu a také v závislosti na termických vlastnostech retardéru.

Rozlišujeme několik podmínek, kdy dochází k retardaci hoření. Můžeme na textilií nanést ochranný film, na bázi kyseliny borité, který zamezí přístupu kyslíku. Dále můžeme hořící textilií ochlazovat vodou, která je latentně vázána a uvolňuje se při dehydrataci. Aby k tomu mohlo dojít, musí být zvolen vhodný retardér, například u bavlny se jako retardér používá chlorid zinečnatý nebo síran hlinitý. Jako poslední bych chtěl zmínit princip založený na uvolňování nehořlavých plynů a par, například oxid uhličitý nebo dusík, tyto plyny následně omezují přístup vzduchu a snižují obsah hořlavých plynů. Za nejefektivnější jsou považovány amonné soli, které odštěpují plynný amoniak.

Nehořlavé úpravy lze rozdělit i dle trvanlivosti úpravy, kam patří úprava dočasná, která se vyznačuje tím, že nehořlavá úprava lze odstranit praním, proto je vhodná především na textilie, které nepřichází do styku s vodou. Nevýhoda této úpravy je ve zhoršení omaku, který se stává drsnějším a studenějším, a jelikož je úprava založena především na prostředcích z anorganických solí, pak může dojít i k tvorbě tzv. závojů, což znamená vykrystalizování soli na povrchu vláken. Další úprava je polotrvalá, tato úprava má určité stálosti v praní, avšak dle norem se nedá zařadit do úprav trvalých. Tato úprava je založena na principu esterifikace, nejčastěji se používá kyselina trihydrogenfosforečná. Úprava trvalá, která je podmíněna normovanými stálostmi ve vodě, v praní.

Jedná se především o stálosti v alkalických a neutrálních lázních neionogenních a anionaktivních tenzidů a stálosti v chemickém čištění chlorovanými a nechlorovanými uhlovodíky. Stálá nehořlavá úprava je dosažena přípravkami obsahujícími sloučeniny fosforu s dusíkem, kombinace těchto dvou přísad má větší účinek než jaký by odpovídal



účinku složek samotných, avšak nastává problém s odpadními vodami, z nichž se nedá fosfor odstranit a také může dojít ke snížení pevnosti až o 30 %. Tyto úpravy též podléhají normám o hygienické nezávadnosti a musí být bez toxických produktů, které se používají zejména na bavlnu, kde tvoří vysoce účinné nehořlavé a bezdožehové úpravy. [12]

## 4 Vhodnost nehořlavých vláken pro jejich konečná použití

Z uvedeného přehledu ohnivzdorných vláken je zřejmé, že ač jejich společnou vlastností je odolnost proti žáru a vysoký stupeň nehořlavosti, v řadě dalších vlastností se mohou od sebe odlišovat, zachovávají si určité typické vlastnosti. Proto ne každé z nich může být vhodné pro všechny možnosti aplikací.

Taktéž aby spodní prádlo pro hasiče splňovalo kvalitativní, funkční, fyziologické i ochranné požadavky, měly by být splněny i následující nároky na jeho úpravu a barvení:

- vysoké rozměrové stálosti
- malá tepelná sráživost
- malá sráživost při žehlení
- dobré odpuzování nečistot
- dobré zotavení ze zmačkání za sucha i za mokra
- stálost vybarvení
- stálost v potu

Jako jeden z nejdůležitějších procesů úpravy pracovních oděvů můžeme označit termofixaci, sanforizaci a finální úpravu. Těmito procesy můžeme dát textilií jeho funkčnost, můžeme zvýšit jeho kvalitu. Výběr správného typu vlákna a technologii jeho úpravy splňujících požadovaný účel použití je úlohou textilního technologa.

Cílem této práce je zvolit vhodné vlákno pro výrobu spodního ochranného oblečení pod zásahový oděv hasičů.

Podstatnými vlastnostmi, které by takový oděv měl splňovat, jsou:

- tepelná odolnost
- absorpční vlastnosti
- fyziologické vlastnosti
- nízká hmotnost
- schopnost barvení a úpravy

Pro tento účel použití se jevila vhodná nehořlavá vlákna z těchto segmentů:

- aramidová vlákna
- PBI vlákna
- polyimidová vlákna
- viskózová vlákna
- polyakrylonitrilová vlákna
- polyvinylchloridová vlákna

Materiálové složení proto bylo zvoleno :    50 % viskóza Lenzing FR / 50 % Rhovyl L9S  
50 % viskóza Lenzing FR / 50 % Kermel  
60 % Protex M / 40 % bavlna

## 4.1 FR Viskóza

Lenzing Viscose FR je speciální viskózové vlákno. FR je zkratka, která znamená „flame resistant“, což v češtině znamená ohnivzdorná. Jako klasická viskózová vlákna i tato se vyrábí ze dřeva a s jeho modifikací vytváří bezkonkurenční ochranu a komfort při nošení. Jeho použití nabízí textilnímu průmyslu možnost vytvářet novou generaci textilií.

Z FR viskózy se vyrábí nejen nejpříjemnější textilie k nošení, ale i nejbezpečnější. Můžeme se s ním setkat při výrobě oděvů pro průmysl a pro ochranu a boj s plameny, armádu a policii, také u potahovek a domácích nábytků.

Výroba těchto vláken splňuje ty nejpřísnější kontroly na ekologii, přičemž je plně ucelený od dřeva po celulózu a vlákna, což zajišťuje nejvyšší kvalitu a konzistenci. Ohnivzdorné aditivum na bázi halogenu se přidává během výroby do zvlákněvané hmoty. I díky tomuto postupu je tato výroba šetrná k výrobnímu prostředí. Bezpečnost je na prvním místě, pokud jde o styk s ohněm. Tato vlákna však nejsou používána, aby přímo chránila proti plamenům, ale používají se především pro výborné výsledky prodyšnosti, řízení vlhkosti a sníženému tepelnému záření. [10]

## 4.2 Kanekaron (Modacryl)

Kanecaron je název celé řady nehořlavých modakrylových vláken, jež je možno

zpracovávat všemi klasickými spřádacími systémy. LOI těchto vláken se pohybuje v rozmezí 28 až 38. Jsou konstruovány tak, aby jejich mísení s vlákny přírodního typu bylo dokonalé a tvořily společně textilie nejvyšší kvality s co nejlepším omakem, splývavostí a vzhledem. Jestliže se smísí ve správném poměru, Kanecaron předá ostatním vláknům všechny své nehořlavé vlastnosti a výsledná textilie se tak stane nehořlavou. Velkou výhodou oproti chemické úpravě je stálá a neměnná nehořlavost po praní a po dlouhém intenzivním užívání. [14] Jestliže použijeme modakrylové příze pouze v útku, pak snížená nehořlavost zůstává zachována i při použití standardních přízí celulóзовých či polyesterových v osnově. Tkaniny se nemusí podrobovat dalším nehořlavým úpravám chemickými prostředky. [16]

Toto chemické vlákno je vyráběno japonskou firmou Kaneka, což je hlavní celosvětový výrobce modakrylových vláken. Na evropský trh přišlo koncem 80. let z důvodu zvyšujících se požadavků na požární bezpečnost a těší se stále větší popularitě. Výroba je založena na kombinaci směsných polymerů akrylonitrilu a dalších materiálů, především vinylů. [15]

Jako nejpřednější vlastnosti můžeme označit jeho samozhášivost a také to, že nevytváří toxické plyny. Je odolný, jak proti kyselinám, tak zásadám, což je velmi důležitá vlastnost především na textiliích, které mohou přijít do styku s těmito látkami. Tato vlákna se netaví a působením plamene karbonizuje, přičemž vzniká účinná bariéra, jenž brání postupu ohně. [16]

Další z jeho předních vlastností je měkký přirozený omak a vzhled velmi blízký bavlně, proto hotová textilie má plně přirozený vzhled a hmatový dojem, což je velmi důležité pro textilie dekoračního typu, kde na prvním místě stojí vzhled a pohodlí. Oproti mnohým dalším umělým vláknům je vnímán jako pružný a přirozený.

Nemalou výhodou je snadná údržba. Jelikož díky tomuto vláknům jsou hotové textilie v podstatě nehořlavé, je možné je chemicky čistit a prát, dle pokynů výrobce, bez obavy ze ztráty nehořlavého provedení. Závěsy, potahy a další bytové textilie obsahující vlákna z Kanecaronu zůstávají kromě bezpečných také pestré a svěží.

Naposlední výhodou jsou také velmi flexibilní možnosti v oblasti designu, to můžeme připsat možnosti mísení s většinou ostatních vláken. Vlivem toho je možné použití v mnoha vazbách a naskytuje se nám také neomezený rozsah barevného vzorování, čímž můžeme vyhovět i při složitých požadavcích na design. Je schopný uspokojit i návrháře a výrobce textilií s nejpřísnějšími specifikacemi na odstín barvy.

V dnešní době, kdy jeden z velmi důležitých aspektů je cena, můžeme Kanecaron označit jako cenově příznivý. Výroba textilií s Kanecaronem nepřináší pouze bezpečný a atraktivní výrobek, ale také velmi nákladově úspornou volbu. Zprvu se může zdát o něco dražší než ostatní nehořlavé metody, avšak z dlouhodobého pohledu můžeme tuto investici označit za moudrou, z důvodu nepotřeby žádného dalšího ošetřování nebo renovaci zapříčiněné ztrátou technických parametrů či opakovanému praní.

Díky svým vlastnostem si drží vedoucí pozici na trhu, ale i přesto se pokračuje na jeho výzkumu a vývoji, aby byly dosaženy jak zpřísnující se požadavky na nehořlavost, tak větší flexibilita barev, struktur, vzhledu a omaku. Samozřejmě nezbytnost poskytování stále větší kvality stoupá.

Kanecaronové textilie zajišťují velmi vysokou kvalitu, potiskovatelnost a barvitelnost, zároveň mají velmi vysokou odolnost proti opotřebení, dobrý vzhled a samozřejmě nehořlavost. Barví se obdobně jako obvyklý akryl za běžných barev, bez potřeby příliš vysoké teploty. Stejně jako u akrylu můžeme dosáhnout celého spektra odstínů a velmi dobrou stálobarevnost. Kanecaron lze barvit jak v cívkách, tak v kusech. Aby bylo dosaženo dobrých stálostí na světle, je nutné pečlivě vybírat barviva. Při barvení černým barvivem, doporučuje se přidávat červenou pro odstranění zelenavého efektu.

Zároveň se dají tyto materiály tisknout bez dopadu na nehořlavostní charakteristiky. Můžeme je bez problémů prát a čistit na 40°C, a jestliže zvolíme vhodný design vláken a správnou konečnou úpravu, pak se mohou prát dokonce až na 100°C s minimální sráživostí a bez ztráty barvy. [14] Barví se pomocí kationtových barviv, přičemž obarvenému materiálu zůstává zachována jeho snížená hořlavost. Tkaniny z tohoto materiálu můžeme prát při 70 až 100°C s minimální srážlivostí. [16]

Můžeme o něm říci, že je jediná možnost, jak jej vložit do útku, což znamená, že hotová tkanina může mít osnovní nitě vyrobené z přírodních materiálů (např. bavlna, vlna) nebo z ostatních syntetik (např. polyester), která se již nemusí dále ošetřovat proti hořlavosti a celá tkanina se stává nehořlavou. Také je schopný vyhovět všem protipožárním evropským standardům (Francie, Španělsko, Německo, Itálie a Velká Británie).

Zajišťuje 100 % nehořlavost díky vestavění do molekulární struktury vlákna. Když se modakrylová textilie dostane do kontaktu s ohněm, produkují se nehořlavé plyny, které jsou těžší než kyslík, čímž se zadusí oheň. Na rozdíl od chemické nehořlavé úpravy nemůžou být nehořlavé vlastnosti tohoto vlákna ovlivněny nošením.

Kanecaron nelze použít v čisté formě, protože je určen k mísení v podstatě s každým typem běžného materiálu od vláken přírodních až po syntetická, jímž v textilií propůjčuje nehořlavost jako celku. V převážné většině se jedná o vlákna bavlněná, viskózová, lněná, vlněná, polyesterová, akrylová, nylonová a aramidová. [14]

### 4.3 Kermel

Firma Kermel vyvinula novou generaci textilních materiálů pro použití ve svrchních oděvech, které odpovídají nejmodernějším požadavkům se zřetelem na ochranné vlastnosti, pohodlnost a stálost, mezi jiným Kermel HTA<sup>®</sup> (Evolution, Premium), Kermel HEROSKIN, Kermel Profil, Kermel Pro-Active, Kermel V50, Kermel V70, Kermel R-Liner.[17]

Vlákna Kermel jsou permanentně nehořlavá, proto oděvy vyrobené z těchto vláken odolávají velmi vysokým teplotám a zajišťují maximální ochranu proti ohni (do 1000°C). Tato ochrana je permanentní na rozdíl od obleků, které jsou upraveny pouze povrchově nehořlavou úpravou, ta vlivem používání, praní a čištění časem zmizí.

Všechny oděvy vyrobené z vláken Kermel podléhají a splňují přísné normy na materiály s omezeným šířením plamene EN 533 a tepelně vodivé materiály, díky tomu mají osoby oblečené do těchto oděvů optimální ochranu ve všech rizikových situacích. [9]

Vlákno Kermel se používá jako pohodlný textilní svrchní materiál, jako nosný materiál pro membrány, jako termické bariéry, jakož i na podšívky. Kromě hasičů a pořádkovými silami stále nošeného pracovního oblečení jsou z nich rovněž zhotovovány obleky, které odolávají extrémním podmínkám (obleky pro boj s plošnými požáry, speciální oblečení pro letecký personál, pancéřované uniformy pro příslušníky armády), jakož i pracovní oblečení pro průmyslové podniky se zvláštním potenciálem nebezpečí (ropná chemie, železářský a ocelářský průmysl, sklářský průmysl, elektrotechnika). Prodejní úspěchy mladšího data potvrzují zvláštní výkonové atributy Kermelu (zásahové síly pařížského hasičstva rozhodly pro obleky z Kermelu; italští hasiči používají Kermel (letní a zimní oblečení); pracovníci francouzských celních úřadů, zásahové síly pro boj proti nepokojům v Anglii, švédské policejní síly, ale také velké podniky ve Francii. [17]

Výrobky z Kermelu jsou výbornými tepelnými izolátory a poskytují efektivní ochranu proti ohni i v provedení lehkých textilií. V ohni jsou zároveň velmi stabilní a při přímém působení je oblek celistvý po dostatečně dlouhou dobu, která je potřebná pro únik

do bezpečného prostředí.

Tyto vlákna také vynikají vynikající odolností vůči většině chemických látek a to i ve velkých koncentracích, pokud dojde ke kontaktu s oblekem. Z hlediska mechanických vlastností, především pevnosti a mechanické odolnosti, jsou vlákna Kermel ideálně pro použití na trvanlivé, odolné a hodnotné výrobky.

Výjimečná jemnost a příjemný omak textilií z těchto přízí zajišťují vynikající komfort. I při každodenním používání výrobků z Kermelu je zachován kvalitní vzhled jako u výrobku nového, je to dáno především tím, že Kermel nežmolkuje.

Díky barvení ve hmotě během výroby vlákna je zajištěna stálobarevnost a také široká paleta barevných odstínů (více než 40), což je velkou výhodou oproti konkurenčním vláknům.

Veškeré výrobky, které se od sebe liší podle použití konečného výrobku a dle požadavků na ochranu a komfort, vyrobené z vláken Kermel, se považují za permanentně nehořlavé a to po celou dobu své životnosti, což znamená, že není potřeba žádná další povrchová nehořlavá úprava.

Hlavními cíly Kermelu jsou ochrana a komfort. Jejich cílem je zabezpečit co nejlepší možnou kvalitu a optimální ochranu. Ochranné oděvy z vláken Kermel vyhovují evropským, americkým a i mezinárodním normám ohledně ochrany proti:

- teple a ohni: EN 531, NFPA 2112, CGSB 155.20
- tekutým chemikáliím: prEN 13040
- elektrostatickým rizikům: NF EN 1149
- elektrickému oblouku: NFPA 70E, ASTM F - 1506
- roztavenému kovu
- tepelnému nárazu [18]

#### 4.3.1 Směs Kermel/Viskoza FR

Tyto textilie, používané ochrannými složkami, obsahují 30-50 % podíl FR viskosy a jsou již léty osvědčené. Mechanické vlastnosti textilie zůstávají zachovány a zároveň poskytují permanentní ochranu proti teple, včetně tepelných nárazů, ohni a kyselinám. Nabízejí vysoký komfort díky své poddajnosti a jemnosti, díky čemuž jsou ideální do horkého prostředí. Tato příze je víceúčelová a lze ji použít do široké škály oděvů i spodního prádla, ať se jedná o tkaninu či pleteninu. [18]

## 4.4 Rhovyl

Rhovyl je vlákno vyráběno stejnojmennou firmou z polyvinylchloridu neboli PVC. Jeho základní monomer, vinyl chlorid, je získáván především z přírodních produktů, jako je mořská sůl a olej. PVC používané při výrobě tohoto vlákna neobsahuje žádná změkčovadla, tudíž se jedná o tuhé PVC.

Vysokou vypovídací schopnost o hořlavosti vlákna má limitní kyslíkové číslo, které je u Rhovylu nejvyšší. Je jediné vlákno, u kterého můžeme pozorovat zvyšující se nehořlavost s rostoucí teplotou. Ideální podmínky má při 150°C. Jestliže Rhovyl vysmésujeme, výsledné LOI konečného výrobku bude vyšší než u ostatních čistých vláken.

Velkou výhodou je nevytváření žádných žhnoucích odkapávajících částic, jež by nám mohly popálit pokožku, proto jsou vlákna Rhovyl dobrými tepelnými izolanty a ochraňují i proti šíření plamene. Při zasažení organismu plyny produkovanými tepelnou destrukcí Rhovylu, dochází ke ztrátě vědomí s delším časovým odstupem než u klasických či modifikovaných materiálů.

Vlákna Rhovyl jsou díky svým vlastnostem velmi vhodná pro oděvní výrobky, hlavně díky vysokému indexu propustnosti, který je přímo úměrný s jejich vysokou kvalitou a komfortem.

Tepelně izolační vlastnosti tohoto vlákna se využívají nejen v oděvním průmyslu, ale můžeme s nimi setkat i v průmyslových a nábytkářských odvětvích. Vlákna Rhovyl můžeme označit vláknem, které předá a pohltí nejmenší množství tepla, to je dáno především nízkou tepelnou vodivostí a výhřevnou kapacitou.

Vynikající odolnost mají i vůči silným kyselinám a zásadám, redukčním a oxidačním prostředkům, při jakémkoliv pH a jejich původní vlastnosti zůstávají zachovány. Avšak dlouhodobé působení některých koncentrovaných látek, především kyselin (benzen, toluen, trichloretylen, chloroform, aceton), může vést k bobtnání vláken. Jsou také citlivá na působení některých rozpouštědel (dimethylformamidu a cyklohexanonu).

Rhovyl též odolává chlóru v plaveckých bazénech, nemá vliv na mechanické vlastnosti a nedochází k viditelnému blednutí, což je zapříčiněno výbornou barevnou stálostí.



V mokrém stavu si stále zachovává svoji pevnost, elasticitu a pevnost v přetrhu. Velkou výhodou je také to, že vlákna Rhovyl za mokra nebobtnají a jejich váha zůstává téměř neměnná, což je zapříčiněno především hydrofobním charakterem, stejně tak, jako usnadňování údržby ve formě velmi rychlého schnutí. Díky své nepropustnosti nejsou nepříznivě ovlivňována mikroorganismy ani plísněmi, s kterými se můžeme setkat ve vodě.

Ani vliv dlouhodobého působení světla či nízkých teplot ( $-30^{\circ}\text{C}$ ) na nich nenechává téměř žádné následky, mechanické vlastnosti jako pevnost, elasticita či moduly se mění jen velmi málo.

Veliký vliv na komfort a příjemný omak vláken Rhovyl mají jejich vysoké triboelektrické vlastnosti zapříčiněné vysokou elektrickou izolační schopností. Při tření textilie o kůži se tvoří záporný elektrický náboj, který tyto vlákna udržují na jejich povrchu. Statická elektřina při kontaktu s kůží způsobuje slabé roztažení cév (vazodilatace), což má za následek následný pocit tepla. Díky tomu lze říci, že vlákna Rhovyl mají fyziologicky prospěšné účinky na organismus, konkrétně na microcirkulaci krve.

Sráživost vláken Rhovyl je závislá na teplotě. Výrobky, jež obsahují vlákna Rhovyl se udržují dle povahy a vlastností materiálů, se kterými se směsuje. [19]

Na textiliích z vláken Rhovyl lze provádět všechny mechanické stupně úprav (počesání, postřihování, plnění, kalandrování), ale také chemické úpravy (nánosování, vodě/oleji odolné, nešpinivé a antistatické úpravy...), avšak všechny úpravy jsou omezeny teplotou  $100^{\circ}\text{C}$ .

V pleteninách vyrobených z vláken Rhovyl se používají především vlákenné směsi a jsou určeny zejména pro oděvní průmysl. Proto je třeba zvolit vhodný technologický způsob zpracování a vhodné použití chemických prostředků tak, aby vyhovovaly všem komponentám ve směsi. Pleteniny mají však výborné vlastnosti, jako vzhled nebo omak, i bez dalších úprav. Pro dobrou konečnou rozměrovou stabilitu se může úprava skládat pouze z jednoduchého kalandrování. Objemnosti a elasticity dosáhneme parním kalandrováním, u kterého by válce neměly být zahřáté, a přímý tlak by měl být omezen na minimum, aby nedošlo k efektu vysokého lesku. Úplety obsahující vlákna Rhovyl nevyžadují žádné zvláštní postupy, protože mají dobrou schopnost odležení. [20]

## 5 Experimentální část

Tato část je zaměřena na výběr nejvhodnějšího materiálu pro použití na spodní prádlo pod zásahové obleky hasičů a také zjistit zda finální úpravy mají vliv na fyziologické a hořlavostní charakteristiky zkoušených úpletů. Z vybraných kandidátů pletenin bylo potřeba vybrat nejvhodnější v závislosti na výsledcích zkoušek nehořlavosti, odolnosti vůči vodním parám a prodyšnosti, přičemž zkoušky byly vždy prováděny na vzorcích režných a upravených. Všechny zkoušky byly prováděny dle příslušných norem.

### 5.1 Výběr textilií pro experimenty

Výběr materiálů byl podmíněn vhodností pro použití na spodní prádlo pro hasiče a míra informací o těchto materiálech a jejich úpravách byla určena úpravárenskými firmami, jež tyto materiály upravovaly, aby nebylo narušeno jejich „know-how“.

Úplet v materiálovém složení PP/bavlna byl zvolen jako etalon především díky využívání vlastností tohoto materiálu, pro výrobu spodního ošacení, bezpečnostními složkami a také z důvodu, že jeho fyziologické vlastnosti jsou brány jako „ideální“.

Charakteristika a parametry hodnocených úpletů:

1. Úplet byl vedený pod označením " VUB002", interní položka IC: 2440

Popis úpletu: interlokový úplet, nehořlavý, jemnost použitých přízí 20tex

Materiálové složení: 50 % Lenzing FR/50 % Kermel, tmavě modrý (barevná příze)

Úprava:

praní (provazec, jett stream,  $t = 60^{\circ}\text{C}$ )

rozstřížení do plné šíře

sušení na fixačním rámu Brückner

rolování na velkonábal

kontrola na klasifikačních stolech a rolování na tenkostěnné papírové roličky

balení a adjustace (opatření visačkami) klasifikace, rolování, adjustace

Vstupní parametry režného zboží:	šíře 98x2 cm, plošná hmotnost	204 g/m <sup>2</sup>
----------------------------------	-------------------------------	----------------------

Výsledné parametry upraveného zboží:	šíře 180 cm, plošná hmotnost	207 g/m <sup>2</sup>
--------------------------------------	------------------------------	----------------------

Rozměrová stabilita (srážlivost):	po délce – 7 %, po šířce – 4 %
-----------------------------------	--------------------------------

2. Úplet byl vedený pod označením " VUB001", interní položka IC:2441

Popis úpletu: smyčkový úplet (plyš – provedení kanálek), nehořlavý, jemnost použitých prstencových přízí je 20tex

Materiálové složení: 50 % Lenzing FR / 50 % Kermel tmavě modrý (barevná příze)

Úprava:

praní (provazec, jett stream,  $t = 60^{\circ}\text{C}$ )

rozstřížení do plné šíře

sušení na fixačním rámu Brückner

rolování na velkonábal

sanforizace (vyšší lesk, příjemnější omak, zlepšení hodnot rozměrových stabilit)

kontrola na klasifikačních stolech a rolování na tenkostěnné papírové roličky

balení a adjustace (opatření visačkami)

Vstupní parametry rezného zboží:                      šíře: 77x2 cm, plošná hmotnost:                      227 g/m<sup>2</sup>

Výsledné parametry upraveného zboží:                      šíře: 139 cm,    plošná hmotnost:                      222 g/m<sup>2</sup>

Rozměrová stabilita (srážlivost):                      po délce -9 %, po šířce -3 %

(pozn. před sanforizací                      d: -9 %                      š: -9 %)

3. Úplet byl vedený pod označením " 0212", interní položka IC:1657

Popis úpletu: smyčkové froté, nehořlavé, jemnost použitých přízí je 20tex

Materiálové složení: 60 % Protex M / 40 % bavlna

Větší část froté je z BD příze, menší část z prstencové příze, v pletenině oddělena (materiály jsou směšovány v pletenině, ne v přízi). Nehořlavost zajišťuje mat. Protex (= Modacryl = acryl modifikovaný na nehořlavost).

Úprava:

barvení na modrý odstín Pantone 19-4019 ( interní kód barvy v IC – VUB04)

reaktivními barvivami (provazec, jett stream,  $t = 80^{\circ}\text{C}$ .)

rozstřížení do plné šíře

sušení na fixačním rámu Brückner

rolování na velkonábal

kontrola na klasifikačních stolech a rolování na tenkostěnné papírové roličky

balení a adjustace (opatření visačkami)

Vstupní parametry rezného zboží: šíře: 102x2 cm, plošná hmotnost: 186 g/m<sup>2</sup>  
Výsledné parametry upraveného zboží: šíře: 208 cm, plošná hmotnost: 174 g/m<sup>2</sup>  
Rozměrová stabilita (sražlivost): po délce -7 %, po šířce -2 %

4. Popis úpletu: interlokový úplet, nehořlavý, jemnost použitých BD přízí je 20tex  
Materiálové složení: 50 % Rhovyl L9S / 50 % VSs FR  
Do pleteniny se přidalo 10 % PADh (polyamidové hedvábí).  
Nehořlavost zajišťuje mat. Rhovyl (= polyvinylchlorid = vinyl chlorid modifikovaný na nehořlavost).  
Úprava:

Vyvářka

Barvení – reaktivní barviva

Praní, stabilizace

Měkčení – měkčící prostředek fy Henkel na bázi mastných kyselin

balení a adjustace (opatření visačkami)

Vstupní parametry rezného zboží: plošná hmotnost: 158 g/qm

Výsledné parametry upraveného zboží: plošná hmotnost: 180 g/qm

5. Úplet byl vedený pod označením " 0271", interní položka IC: 2104

Popis úpletu: smyčkové froté, jemnost použitých prstencových přízí je 20tex

Materiálové složení: 45 % bavlna / 55 % polypropylen

Úprava:

- barvení na zelený odstín Pantone RAL7013 (interní kód barvy v IC – TRS089BPOP) reaktivními barvivy (provazec, jett stream, t = 80°C
- rozstřížení do plné šíře
- sušení na fixačním rámu Brückner
- rolování na velkonábal
- kontrola na klasifikačních stolech a rolování na tenkostěnné papírové roličky
- balení a adjustace (opatření visačkami)

Vstupní parametry rezného zboží: šíře: 94x2 cm, plošná hmotnost: 219 g/m<sup>2</sup>

Výsledné parametry upraveného zboží: šíře: 205 cm, plošná hmotnost: 192 g/m<sup>2</sup>

Rozměrová stabilita (sražlivost): po délce 6 %, po šířce 7 %

## 6 Výsledky hodnocení fyziologických charakteristik

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky měření fyziologických vlastností na daných materiálech za daných laboratorních podmínek.

### 6.1 Výsledky hodnocení prodyšnosti

Předmětem tohoto hodnocení bylo naměřit hodnoty prodyšnosti a porovnat s etalonem (PP/bavlna). Měření se prováděla dle normy ČSN EN ISO 9237 Textile – zjišťování prodyšnosti plošných textilií, viz. kapitola 2.1.1.1. Čím vyšší naměřená hodnota byla, tím se materiál stával vhodnějším. Hodnoty naměřené z lící strany byly pouze informativní. Měření byla prováděna při jednotném tlakovém spádu 5 Pa, jenž byl zvolen na základě orientačních měření, která byla provedena před samotným souborem měření.

Laboratorní podmínky byly:

$$T = 21^{\circ}\text{C}$$

$$\varphi = 62 \%$$

$$p = 101,3 \text{ kPa}$$

Výpočet se prováděl dle vzorce (1)

Tabulky naměřených hodnot:

Tab. 6.1.1 Prodyšnost smyčkového úpletu PP/bavlna

	PP/bavlna		rub-vis. [m/s]	lic-vis. [m/s]
	rub-nam. [ml/cm <sup>2</sup> /s]	lic-nam. [ml/cm <sup>2</sup> /s]		
1	92	110	0,046	0,055
2	95	108	0,0475	0,054
3	90	110	0,045	0,055
4	100	110	0,05	0,055
5	101	104	0,0505	0,052
6	112	100	0,056	0,05
7	105	101	0,0525	0,0505
8	98	96	0,049	0,048
9	106	100	0,053	0,05
10	100	91	0,05	0,0455
Průměr	99,9	103	0,05	0,0515
Směr.od.	6,3159	6,229	0,0032	0,0031
var.koef. v %	6,3222	6,0475	6,3222	6,0475
IS průměr ±	4,5183	4,4561	0,0023	0,0022
R [m/s]	0,04995	0,0515		

Průměrná hodnota prodyšnosti byla 0,04995 m/s.

Pletenina na bázi polypropylenu byla zvolena jako etalon na základě jeho fyziologických vlastností. Vycházelo se z poznatků o vlastnostech polypropylenových vláken a z průzkumu nabídky tzv. funkčního ošacení a pro sport a volný čas.

Tab. 6.1.2 Prodyšnost materiálu Kermel/viskóza FR – interlok

	Kermel/viskóza FR-interlok		před úp.-vis. [m/s]	po úp.-vis. [m/s]
	před úp. [ml/cm <sup>2</sup> /s]	po úp. [ml/cm <sup>2</sup> /s]		
1	225	145	0,1125	0,0725
2	219	146	0,1095	0,073
3	225	159	0,1125	0,0795
4	222	157	0,111	0,0785
5	210	155	0,105	0,0775
6	220	148	0,11	0,074
7	228	152	0,114	0,076
8	230	159	0,115	0,0795
9	220	150	0,11	0,075
10	234	149	0,117	0,0745
Průměr	223,3	152	0,1117	0,076
Směr.od.	6,3726	4,9598	0,0032	0,0025
var.koef. v %	2,8538	3,2631	2,8538	3,2631
IS průměr ±	4,5589	3,5482	0,0023	0,0018
R[m/s]	0,11165	0,076		

V této tabulce můžeme vidět rozdíl hodnot rezných a upravených vzorků Kermel/viskóza FR v provedení interlokového úpletu. Průměrná prodyšnost rezného materiálu je 0,11165 m/s a upraveného činí 0,076 m/s.

Tab. 6.1.3 Prodyšnost materiálu Kermel/viskóza FR – smyčka - před úpravou

	Kermel/viskóza FR-smyčka-před úp.			
	Rub [ml/cm <sup>2</sup> /s]	Líc [ml/cm <sup>2</sup> /s]	rub-vys. [m/s]	líc-vys. [m/s]
1	209	191	0,1045	0,0955
2	200	207	0,1	0,1035
3	212	204	0,106	0,102
4	205	196	0,1025	0,098
5	197	190	0,0985	0,095
6	192	186	0,096	0,093
7	194	190	0,097	0,095
8	195	180	0,0975	0,09
9	197	183	0,0985	0,0915
10	191	191	0,0955	0,0955
Průměr	199,2	191,8	0,0996	0,0959
Směr.od.	6,8381	8,0969	0,0034	0,0040
var.koef. v %	3,4328	4,2215	3,4328	4,2215
IS průměr ±	4,8919	5,7924	0,0024	0,0029
R	0,0996	0,0959		



Tab. 6.1.4 Prodyšnost materiálu Kermel/viskóza FR – smyčka - po úpravě

	Kermel/viskóza FR-smyčka-po úp.			
	Rub [ml/cm <sup>2</sup> /s]	Líc [ml/cm <sup>2</sup> /s]	rub-vys. [m/s]	líc-vys. [m/s]
1	205	204	0,1025	0,102
2	219	217	0,1095	0,1085
3	225	207	0,1125	0,1035
4	214	199	0,107	0,0995
5	200	195	0,1	0,0975
6	205	210	0,1025	0,105
7	198	208	0,099	0,104
8	208	201	0,104	0,1005
9	208	209	0,104	0,1045
10	197	204	0,0985	0,102
Průměr	207,9	205,4	0,10395	0,1027
Směr.od.	8,6539	5,9195	0,0043	0,0030
var.koef. v %	4,1625	2,8819	4,1625	2,8819
IS průměr ±	6,1909	4,2347	0,0031	0,0021
R	0,1040	0,1027		

Ve dvou výše uvedených tabulkách jsou naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu Kermel/viskóza FR v provedení smyčkového úpletu. Průměrná hodnota před úpravou je 0,0996 m/s a po úpravě 0,10395 m/s.

Tab. 6.1.5 Prodyšnost materiálu Protex/bavlna - před úpravou

	Protex/bavlna-před úp.			
	Rub [ml/cm <sup>2</sup> /s]	Líc [ml/cm <sup>2</sup> /s]	rub-vys. [m/s]	líc-vys. [m/s]
1	64	62	0,032	0,031
2	68	68	0,034	0,034
3	68	67	0,034	0,0335
4	64	61	0,032	0,0305
5	65	65	0,0325	0,0325
6	59	68	0,0295	0,034
7	59	65	0,0295	0,0325
8	59	67	0,0295	0,0335
9	66	66	0,033	0,033
10	62	67	0,031	0,0335
Průměr	63,4	65,6	0,0317	0,0328
Směr.od.	3,3526	2,2891	0,0017	0,0011
var.koef. v %	5,2880	3,4895	5,2880	3,4895
IS průměr ±	2,3984	1,6376	0,0012	0,0008
R	0,0317	0,0328		

Tab. 6.1.6 Prodyšnost materiálu Protex/bavlna – po úpravě

	Protex/bavlna-po úp.			
	Rub [ml/cm <sup>2</sup> /s]	Líc [ml/cm <sup>2</sup> /s]	rub-vys. [m/s]	lic-.vys. [m/s]
1	115	126	0,0575	0,063
2	111	130	0,0555	0,065
3	110	122	0,055	0,061
4	118	125	0,059	0,0625
5	125	122	0,0625	0,061
6	117	120	0,0585	0,06
7	120	121	0,06	0,0605
8	108	124	0,054	0,062
9	110	124	0,055	0,062
10	122	128	0,061	0,064
Průměr	115,6	124,2	0,0578	0,0621
Směr.od.	5,4626	2,9933	0,0027	0,0015
var.koef. v %	4,7254	2,4101	4,7254	2,4101
IS průměr ±	3,9079	2,1414	0,0020	0,0011
R	0,0578	0,0621		

Ve dvou výše uvedených tabulkách jsou naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu Protex/bavlna v provedení smyčkového úpletu. Průměrná hodnota před úpravou je 0,0317 m/s a po úpravě 0,0578 m/s.

Tab. 6.1.7 Prodyšnost materiálu - Rhovyl/viskóza FR

	Rhovyl/viskóza FR			
	před úp. [ml/cm <sup>2</sup> /s]	po úp. [ml/cm <sup>2</sup> /s]	před úp.-vys. [m/s]	po úp.-vys. [m/s]
1	200	124	0,1	0,062
2	195	129	0,0975	0,0645
3	189	128	0,0945	0,064
4	186	129	0,093	0,0645
5	193	125	0,0965	0,0625
6	202	123	0,101	0,0615
7	197	118	0,0985	0,059
8	198	131	0,099	0,0655
9	201	120	0,1005	0,06
10	190	122	0,095	0,061
Průměr	195,1	124,9	0,09755	0,06245
Směr.od.	5,1856	4,0608	0,0026	0,0020
var.koef. v %	2,6579	3,2512	2,6579	3,2512
IS průměr ±	3,7097	2,9050	0,0019	0,0015
R	0,0976	0,0625		

V této tabulce můžeme vidět změnu prodyšnosti rezného a upraveného materiálu Rhovyl/viskóza FR v provedení interlokového úpletu. Materiál před úpravou měl prodyšnost 0,09755 m/s a po úpravě 0,06245 m/s.

Tab. 6.1.8 Průměrné hodnoty prodyšnosti a porovnání s etalonem

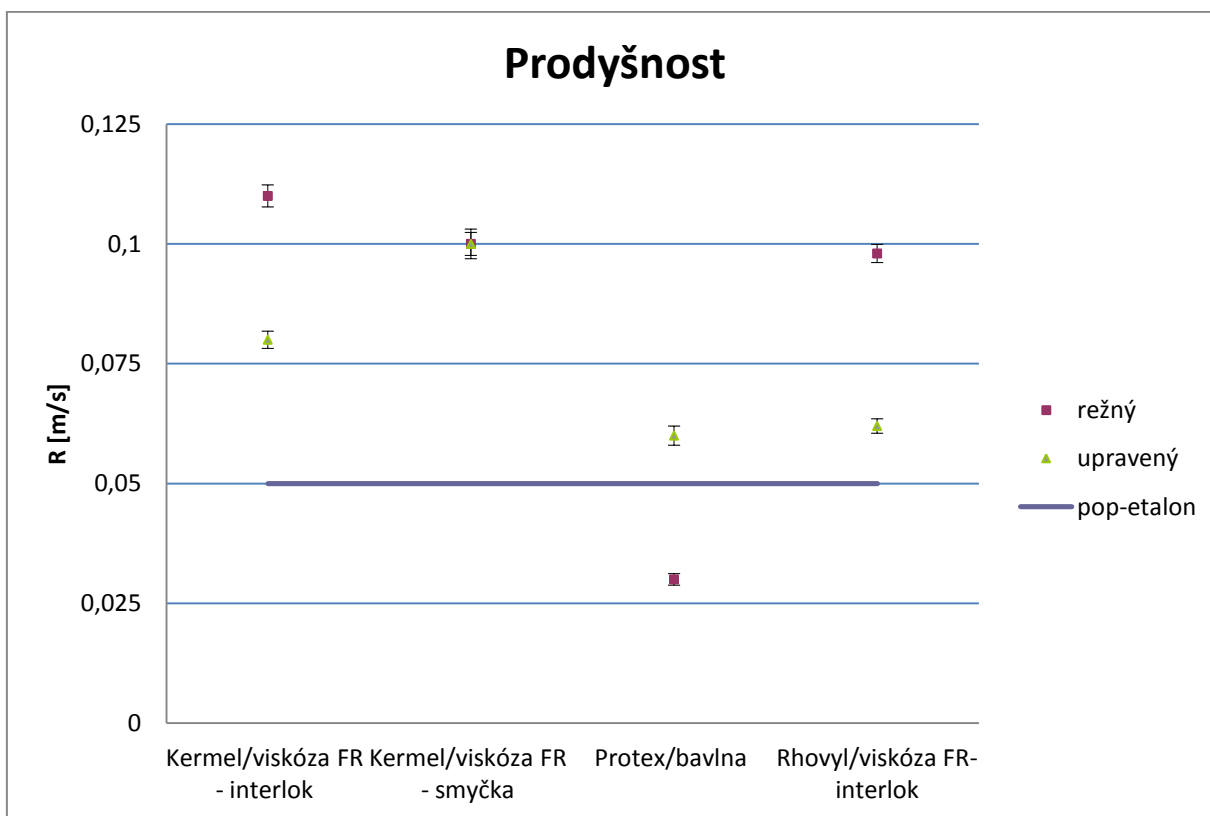
	R [m/s]	porovnání s PP/bavlna v %	IS průměr ±
PP/bavlna	0,05	100,00	0,0023
Kermel/viskóza FR - interlok R	0,11	+120,00	0,0023
Kermel/viskóza FR - smyčka R	0,1	+100,00	0,0024
Protex/bavlna - R	0,03	-40,00	0,0012
Rhovyl/viskóza FR - R	0,098	+96,00	0,0019
Kermel/viskóza FR - interlok Up	0,08	+60,00	0,0018
Kermel/viskóza FR - smyčka Up	0,1	+100,00	0,0031
Protex/bavlna - Up	0,06	+20,00	0,0020
Rhovyl/viskóza FR - Up	0,062	+24,00	0,0015

V této tabulce jsou uvedeny všechny průměrné hodnoty režných a upravených materiálů a jejich procentuální porovnání s etalonem (PP/bavlna). Čím vyšší hodnoty jsou, tím je materiál z hlediska prodyšnosti lepší. Pouze neupravená směs Protex/bavlna byla horší, avšak po úpravě je již hodnota příznivější.

Tab. 6.1.9 Porovnání prodyšností neupravených a upravených materiálů

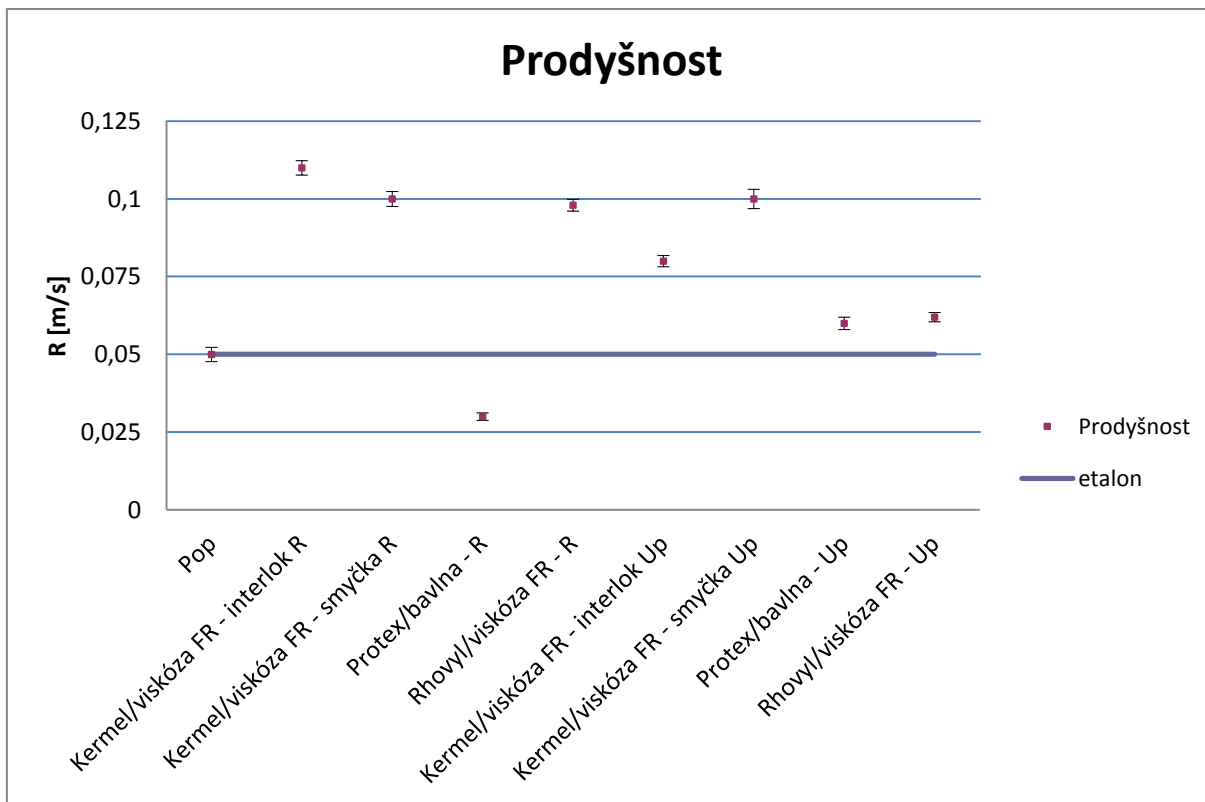
	rez.	up.	změna (up./rez.) v %
PP/bavlna	0,05		-
Kermel/viskóza FR - interlok	0,11	0,08	-27
Kermel/viskóza FR - smyčka	0,1	0,1	0
Protex/bavlna	0,03	0,06	+100
Rhovyl/viskóza FR-interlok	0,098	0,062	-37

Z této tabulky je patrné, jak se hodnota prodyšnosti u jednotlivých materiálů změnila vlivem úpravy. Hodnoty pod 100 % znamenají zhoršení a hodnoty nad 100 % znamenají zlepšení vlivem úpravy.



Graf 6.1.1 Porovnání prodyšností neupravených a upravených materiálů

Na tomto grafu je graficky znázorněn vliv úpravy na charakteristiky prodyšnosti, přičemž je patrné, že jediný materiál, jehož prodyšnost byla horší než u etalonu je směs Protex/bavlna. Zelené body znázorňují hodnoty materiálů po úpravě, fialové pak hodnoty materiálů před úpravou. Přímkou je vyznačen etalon.



Graf 6.1.2 Všechny naměřené hodnoty prodyšnosti

V tomto grafu jsou znázorněny všechny průměrné hodnoty všech materiálů. Opět je vidět, že jediná „nevyhovující“ hodnota je směsi Protex/bavlna. Vynesená přímkou představuje hodnotu etalonu a ostatními body jsou znázorněny hodnoty prodyšnosti všech materiálů.

## 6.2 Výsledky hodnocení odolnosti vůči vodním parám

Předmětem tohoto hodnocení bylo naměřit hodnoty odolnosti vůči vodním parám a porovnat s etalonem (PP/bavlna). Měření se prováděla dle normy ČSN EN 31092 Textilie – Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek, viz. kapitola 2.1.6.

Přičemž měřením se mělo zjistit, jak je či není materiál schopen propouštět vodní páry. Přičemž na rozdíl od prodyšnosti, zde platí, že čím nižší hodnota je, tím je materiál vhodnější. Od každé naměřené hodnoty se musí odečíst konstanta přístroje, jenž při těchto měření bylo 4,7225 m<sup>2</sup>\*Pa/W.

Tabulky naměřených hodnot:

Tab. 6.2.1 Odolnost vůči vodním parám materiálu PP/bavlna

PP/bavlna			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	9,92	4,7225	5,1975
2	9,6775	4,7225	4,955
3	9,2318	4,7225	4,5093
Průměr	9,6098	4,7225	4,8873
Směr.od.	0,2850	0	0,2850
var.koef. v %	2,9658	0	5,8317
IS průměr ±	0,7080	0	0,7080

Tato tabulka určuje hodnotu odolnosti vůči vodním parám materiálu PP/bavlna, jenž sloužil jako etalón pro ostatní zkoušené materiály. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány, čímž jsme dostali výslednou hodnotu 4,8873 m<sup>2</sup>\*Pa/W.

Tab. 6.2.2 Odolnost vůči vodním parám materiálu Kermel/viskóza FR – interlok - před úpravou a po úpravě

Kermel/viskóza FR-interlok-před úp.			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	10,1201	4,7225	5,3976
2	10,1464	4,7225	5,4239
3	9,9276	4,7225	5,2051
Průměr	10,0647	4,7225	5,3422
Směr.od.	0,0975	0	0,0975
var.koef. v %	0,9691	0	1,8258
IS průměr ±	0,2423	0	0,2423
Kermel/viskóza FR-interlok-po úp.			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	8,6772	4,7225	3,9547
2	9,6951	4,7225	4,9726
3	9,5547	4,7225	4,8322
Průměr	9,3090	4,7225	4,5865
Směr.od.	0,4504	0	0,4504
var.koef. v %	4,8385	0	9,8204
IS průměr ±	1,1189	0	1,1189

Z této tabulky je patrné, že u materiálu ze směsi Kermel/viskóza FR v provedení interlokového úpletu, byla vlivem úpravy zlepšena odolnost vůči vodním parám. Hodnota před úpravou byla 5,3422 m<sup>2</sup>\*Pa/W a po úpravě 4,5865 m<sup>2</sup>\*Pa/W.



Tab. 6.2.3 Odolnost vůči vodním parám materiálu Protex/bavlna - před úpravou a po úpravě

Protex/bavlna - před úp.			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	8,1809	4,7225	3,4584
2	8,1016	4,7225	3,3791
3	7,8638	4,7225	3,1413
Průměr	8,0488	4,7225	3,3263
Směr.od.	0,1347	0	0,1347
var.koef. v %	1,6740	0	4,0507
IS průměr ±	0,3347	0	0,3347
Protex/bavlna - po úp.			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	9,0058	4,7225	4,2833
2	9,1725	4,7225	4,45
3	9,2712	4,7225	4,5487
Průměr	9,1498	4,7225	4,4273
Směr.od.	0,1095	0	0,1095
var.koef. v %	1,1971	0	2,4739
IS průměr ±	0,2721	0	0,2721

Tato tabulka vypovídá o zhoršení odolnosti vůči vodním parám u materiálu Protex/bavlna vlivem finální úpravy. Hodnota odolnosti vůči vodním parám před úpravou byla 3,3263 m<sup>2</sup>\*Pa/W a po úpravě 4,4273 m<sup>2</sup>\*Pa/W.

Tab. 6.2.4 Odolnost vůči vodním parám materiálu Kermel/viskóza FR-žebro - před úpravou a po úpravě

Kermel/viskóza FR-žebrová vazba-před úp.			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	10,2235	4,7225	5,501
2	10,24	4,7225	5,5175
3	10,5318	4,7225	5,8093
Průměr	10,3318	4,7225	5,6093
Směr.od.	0,1416	0	0,1416
var.koef. v %	1,3706	0	2,5245
IS průměr ±	0,3518	0	0,3518
Kermel/viskóza FR-žebrová vazba-po úp.			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	10,1914	4,7225	5,4689
2	9,3248	4,7225	4,6023
3	10,0748	4,7225	5,3523
Průměr	9,8637	4,7225	5,1412
Směr.od.	0,3840	0	0,3840
var.koef. v %	3,8931	0	7,4691
IS průměr ±	0,9539	0	0,9539

Z této tabulky je patrné, že u materiálu ze směsi Kermel/viskóza FR v provedení smyčkového úpletu, byla vlivem úpravy zlepšena odolnost vůči vodním parám, stejně jako u úpletu interlokového totožného materiálového složení. Hodnota před úpravou byla 5,6093 m<sup>2</sup>\*Pa/W a po úpravě 5,1412 m<sup>2</sup>\*Pa/W.

Tab. 6.2.5 Odolnost vůči vodním parám materiálu Rhovyl/viskóza FR-interlok - před úpravou a po úpravě

Rhovyl/viskóza FR-interlok-před úp			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	7,4384	4,7225	2,7159
2	7,0628	4,7225	2,3403
3	7,3368	4,7225	2,6143
Průměr	7,2793	4,7225	2,5568
Směr.od.	0,1586	0	0,1586
var.koef. v %	2,1621	0	6,0678
IS průměr ±	0,3941	0	0,3941
Rhovyl/viskóza FR-interlok-po úp.			
	nam.hod. [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Ret0 [m <sup>2</sup> *Pa/W]	Výs. [m <sup>2</sup> *Pa/W]
1	7,3351	4,7225	2,6126
2	7,5282	4,7225	2,8057
3	7,5614	4,7225	2,8389
Průměr	7,4749	4,7225	2,7524
Směr.od.	0,0998	0	0,0998
var.koef. v %	1,3196	0	3,5147
IS průměr ±	0,2479	0	0,2479

U tohoto materiálu Rhovyl/viskóza FR došlo ke zhoršení odolnosti vůči vodním parám z hodnoty neupraveného materiálu 2,5568 m<sup>2</sup>\*Pa/W na hodnotu 2,7524 m<sup>2</sup>\*Pa/W u materiálu upraveného.

Tab. 6.2.6 Odolnost vůči vodním parám materiálů a porovnání s etalonem

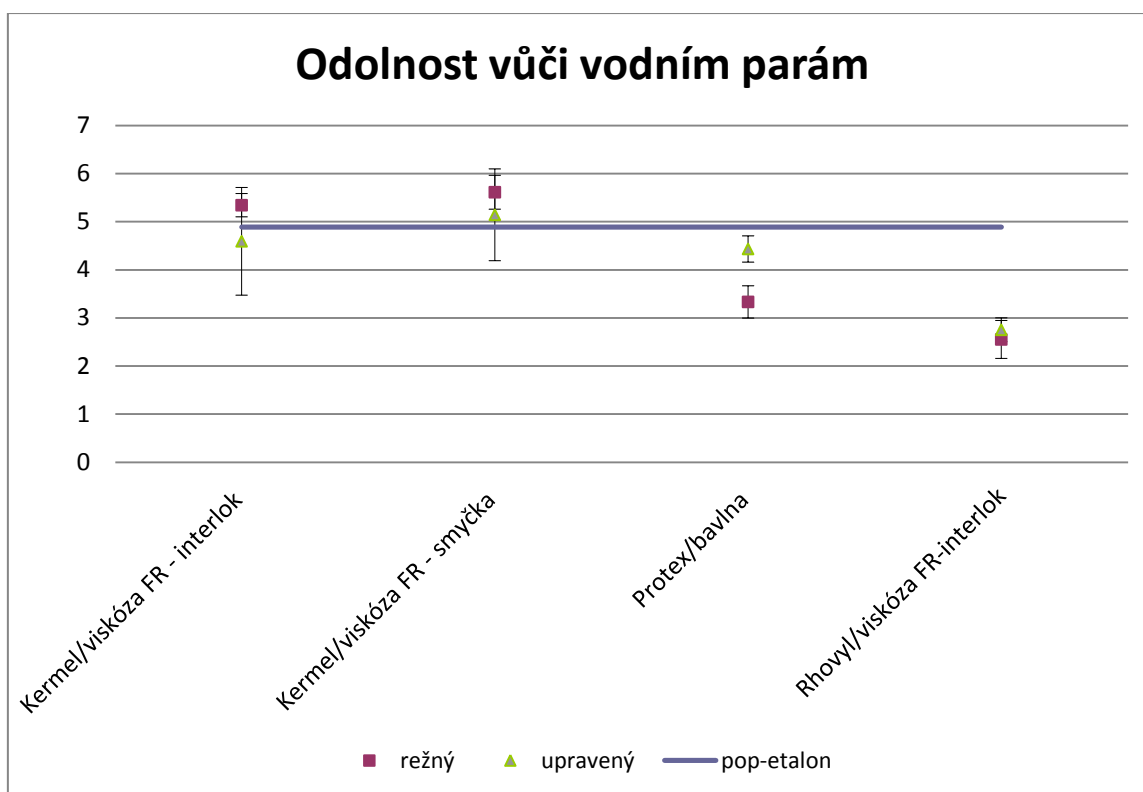
	Ret [m <sup>2</sup> *Pa/W]	porovnání s PP/bavlna v %	IS průměr ±
PP/bavlna	4,89	100,00	0,708
Kermel/Vs - interlok R	5,34	+9	0,2423
Kermel/Vs - interlok Up	4,59	-6	0,3518
Kermel/Vs - smyčka R	5,61	+15	0,3347
Kermel/Vs - smyčka Up	5,14	+5	0,3941
Protex/Co - R	3,33	-32	1,1189
Protex/Co - Up	4,43	-9	0,9539
Rhovyl/FR-interlok R	2,55	-48	0,2721
Rhovyl/FR-interlok Up	2,75	-44	0,2479

V této tabulce je uveden souhrn materiálů s jejich průměrnými hodnotami odolnosti vůči vodním parám. Dále je zde uvedena procentuální odlišnost od PP/bavlna, jenž sloužil jako etalon. Oproti prodyšnosti zde platí, že čím nižší hodnota je, tím je odolnost vůči vodním parám příznivější.

Tab. 6.2.6 Porovnání odolnosti vůči vodním parám materiálů upravených a neupravených

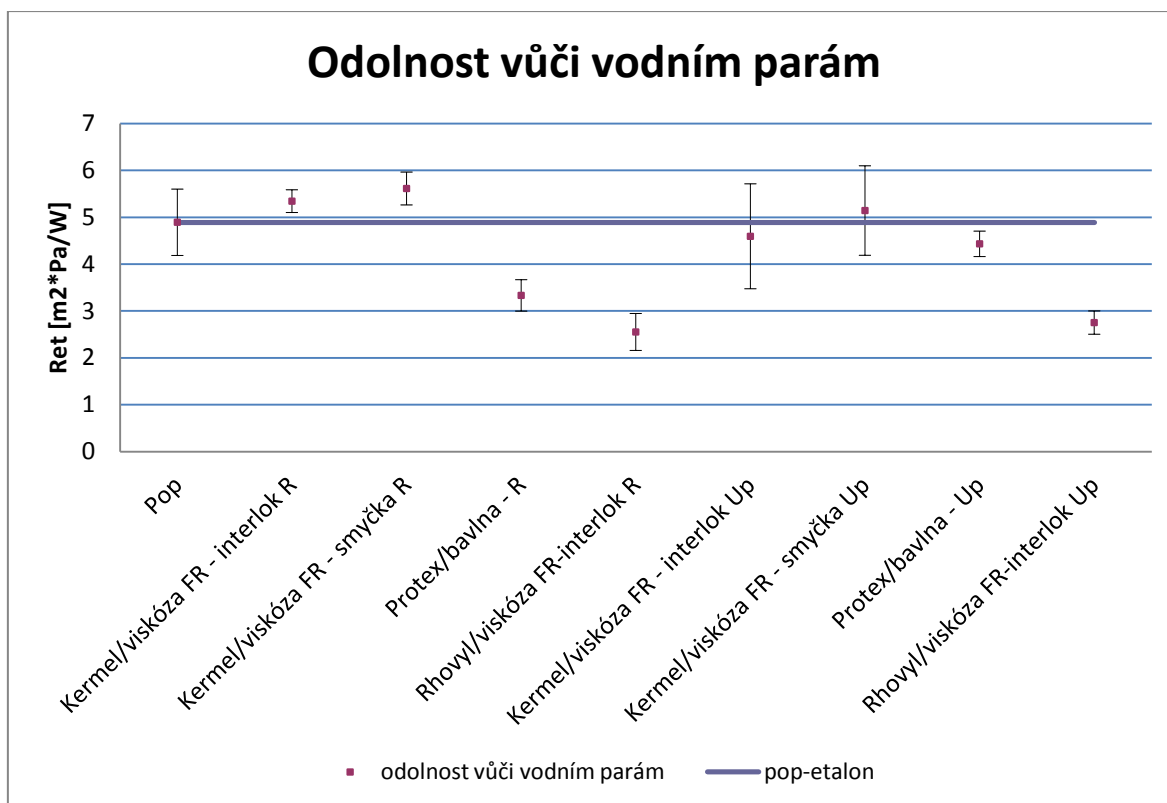
	Ret [m <sup>2</sup> *Pa/W]		změna (up./rez.) v %
	rez.	up.	
PP/bavlna	0,05		-
Kermel/viskóza FR - interlok	5,34	4,59	-14
Kermel/viskóza FR - smyčka	5,61	5,14	-8
Protex/bavlna	3,33	4,43	+33
Rhovyl/viskóza FR-interlok	2,55	2,75	+8

Tato tabulka uvádí změnu odolnosti vůči vodním parám neupraveného a upraveného materiálu a procentuální vyjádření změny před a po úpravě.



Graf 6.2.1 Znázorněny odolnosti vůči vodním parám upraveného a neupraveného materiálu

Na tomto grafu je graficky znázorněn vliv finální úpravy na odolnost vůči vodním parám. Zelené body znázorňují hodnoty upravených materiálů a body fialové hodnoty materiálů neupravených. Vynesená přímka představuje etalon.



Graf 6.2.2 Znázorněny odolnosti vůči vodním parám všech materiálů

V tomto grafu jsou znázorněny všechny průměrné hodnoty odolnosti vůči vodním parám všech materiálů. Přímka opět znázorňuje etalon a body jsou vyneseny všechny průměrné hodnoty odolnosti vůči vodním parám.

## 7 Výsledky hodnocení hořlavostních charakteristik

Předmětem těchto zkoušek bylo zjistit ochranu materiálů vůči ohni a vyhodnotit, zda jsou vhodné pro použití na spodní prádlo pro hasiče. Měření se prováděla dle normy ČSN EN ISO 15025 Ochranné oděvy – Ochrana proti teple a ohni – metoda zkoušení pro omezené šíření plamene. Vyhodnocování pak probíhalo dle normy ČSN EN ISO 14116 Ochranné oděvy- Ochrana proti teple a ohni – Materiály a sestavy materiálů s omezeným šířením plamene. Přičemž zkouška nehořlavosti byla prováděna na upravených a neupravených materiálech zkouškami zapálení do kraje a do plochy.

Tab. 7.1 Naměřené hodnoty hořlavosti materiálů ve složení Kermel/viskóza FR

	pric.			pod.		
Kermel/viskóza FR-všechny	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Trvání hoření	0	0	0	0	0	0
doba dožehu	0	0	0	0	0	0
hořící úlomky	N	N	N	N	N	N
zbytky	N	N	N	N	N	N
prohoření díry	N	N	N	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N	N	N	N

Z této tabulky je patrné, že všechny vzorky materiálu Kermel/viskóza FR pálené do plochy i do kraje jsou absolutně nehořlavé a po ukončení působení plamene nevykazují žádné známky žhnutí.

Tab. 7.2 Naměřené hodnoty hořlavosti materiálů ve složení Protex/bavlna zkoušené do plochy

	pric.			pod.		
Protex/bavlna-plocha (rezné i upravené)	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Trvání hoření	0	0	0	0	0	0
doba dožehu	0	0	0	0	0	0
hořící úlomky	N	N	N	N	N	N
zbytky	N	N	N	N	N	N
prohoření díry	N	N	N	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N	N	N	N

Materiál Protex/bavlna při zkoušce pálení do plochy stejně jako směsi s Kermelem vyšel absolutně nehořlavě.

Tab. 7.3 Naměřené hodnoty hořlavosti neupraveného materiálu Protex/bavlna zkoušené do kraje

	pric.			pod.		
Protex/bavlna-do kraje	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Trvání hoření	0	0	0	0	0	0
doba dožehu	6,8s	7,5s	7,9s	7,8s	5,1s	6,4s
hořící úlomky	N	N	N	N	N	N
zbytky	N	N	N	N	N	N
prohoření díry	N	N	N	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N	N	N	N



Tab. 7.4 Naměřené hodnoty hořlavosti upraveného materiálu Protex/bavlna zkoušené do kraje

	pric.			pod.		
Protex/bavlna-do kraje	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Trvání hoření	0	0	0	0	0	0
dobu dožehu	0	0	0	0	0	0
hořící úlomky	N	N	N	N	N	N
zbytky	N	N	N	N	N	N
prohoření díry	N	N	N	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N	N	N	N

Z těchto tabulek je patrné, že neupravený materiál Protex/bavlna vykazoval po odstranění plamene dobu dožehu, jejíž průměrná hodnota v příčném směru byla 7,4 s a ve směru podélném 6,43 s. Po úpravě pak materiál nevykazoval žádné známky žhnoucích částic.

Tab. 7.5 Naměřené hodnoty hořlavosti materiálů směsi Rhovyl/viskóza FR zkoušené do plochy

	pric.			pod.		
Rhovyl/viskóza FR-plocha (režné i upravené)	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Trvání hoření	0	0	0	0	0	0
dobu dožehu	0	0	0	0	0	0
hořící úlomky	N	N	N	N	N	N
zbytky	N	N	N	N	N	N
prohoření díry	N	N	N	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N	N	N	N

Materiál Rhovyl/viskóza FR stejně jako předešlé materiály pálené do plochy nevykazoval žádné známky zapálení ani žhnutí a to na materiálu upraveném

i neupraveném.

Tab. 7.6 Naměřené hodnoty hořlavosti neupraveného materiálu směsi Rhovyl/viskóza FR zkoušené do kraje

	pric.			pod.		
Rhovyl/viskóza FR-do kraje	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Trvání hoření	0	0	0	14s	13,5s	12s
doba dožehu	0	0	0	0	0	0
hořící úlomky	N	N	N	N	N	N
zbytky	N	N	N	N	N	N
prohoření díry	N	N	N	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N	N	N	N

V této tabulce je vidět, že neupravený materiál Rhovyl/viskóza FR vykazoval dobu hoření po odstranění přímého plamene. Při měření trvání hoření byly naměřeny hodnoty trvání hoření 14 s, 13,5 s a 12 s. Průměrná hodnota je 13,17 s.

Tab. 7.7 Naměřené hodnoty hořlavosti upraveného materiálu směsi Rhovyl/viskóza FR zkoušené do kraje

	pric.			pod.		
Rhovyl/viskóza FR-do kraje	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Trvání hoření	0	0	0	11s	15s	0
doba dožehu	0	0	0	0	0	0
hořící úlomky	N	N	N	N	N	N
zbytky	N	N	N	N	N	N
prohoření díry	N	N	N	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N	N	N	N

Z této tabulky je patrné, že materiál Rhovyl/viskóza FR po úpravě také vykazoval známky hoření po odstranění přímého plamene. Při měření trvání hoření bylo u dvou vzorků naměřeno 11 s a 15 s, přičemž průměrná hodnota je 8,7 s.

Tab. 7.8 Výsledky zkoušky hořlavosti do plochy všech materiálů

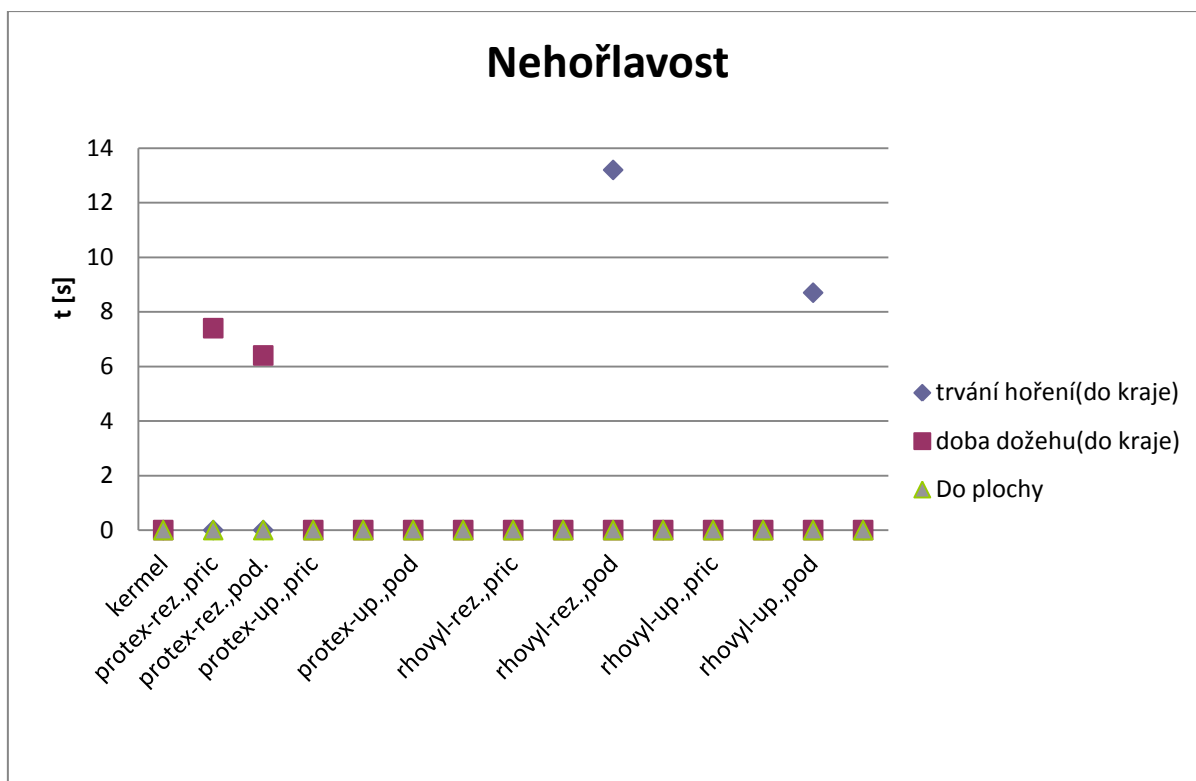
Zkouška pálení do plochy			
	Kermel/viskóza FR	Protex/bavlna	Rhovyl/viskóza FR
Trvání hoření	0	0	0
doba dožehu	0	0	0
hořící úlomky	N	N	N
zbytky	N	N	N
prohoření díry	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N

Zde můžeme vidět, že všechny materiály podrobené zkouškou do plochy vyšly jako absolutně nehořlavé.

Tab. 7.9 Výsledky zkoušky hořlavosti do kraje všech materiálů

Zkouška pálení do kraje									
	kermel	protex-rez.		protex-up.		rhovyl-rez.		rhovyl-up.	
	všechny	pric.	pod.	pric.	pod.	pric.	pod.	pric.	pod.
Trvání hoření	0	0	0	0	0	0	13,2s	0	8,7s
doba dožehu	0	7,4s	6,4s	0	0	0	0	0	0
hořící úlomky	N	N	N	N	N	N	N	N	N
zbytky	N	N	N	N	N	N	N	N	N
prohoření díry	N	N	N	N	N	N	N	N	N
prohoření do kraje	N	N	N	N	N	N	N	N	N
rozšíření plamene	N	N	N	N	N	N	N	N	N

V této tabulce jsou uvedeny pouze průměrné hodnoty zkoušek pálení do kraje.



Graf. 7.1. Výsledky zkoušek hořlavosti všech materiálů

V tomto grafu jsou vyneseny všechny hodnoty nehořlavosti. Zelená znázorňuje zkoušku pálení do plochy, fialové odstíny pak zkoušku pálení do kraje, přičemž tmavším odstínem trvání hoření a světlejším doba dožehu.

## 8 Závěr

Prodyšnost je jedna ze základních charakteristik plošné textilie, charakterizuje schopnost materiálu propouštět vzduch. Čím je tato hodnota vyšší, tím je materiál prodyšnější, a tím i vhodnější pro použití na oblečení. Přestože prodyšnost nemá žádné klasifikační tabulky, můžeme říci, že všechny materiály vykazují velmi dobré výsledky. U této metody tedy můžeme porovnávat pouze s etalonem, kterým byl polypropylén.

Nejlepší výsledky byly zaznamenány u neupraveného materiálu Kermel/viskóza FR. v provedení interlokového úpletu. Vlivem úpravy se však prodyšnost tohoto materiálu zhoršila stejně tak tomu bylo u materiálu Rhovyl/viskóza FR také v provedení interlokového úpletu. Toto zhoršení bylo téměř identické.

U materiálu Kermel/viskóza FR v provedení smyčkového úpletu nedošlo vlivem úpravy k žádné změně v hodnotách prodyšnosti. Výjimkou byl materiál Protex/bavlna, u kterého vlivem úpravy došlo ke zlepšení hodnot a to dvojnásobně.

Všechny materiály vykazovaly lepší charakteristiky než etalon, až na materiál Protex/bavlna v neupravené formě, avšak u toho materiálu se vlivem úpravy prodyšnost zvýšila a dostala se taktéž nad úroveň etalonu.

Můžeme tedy říci, že by všechny materiály, z hlediska prodyšnosti, vyhovovali i po finální úpravě. Je patrné, že úprava zkombinovaná se strukturou pleteniny a použitým materiálem má vliv na prodyšnost.

Metoda zjišťování odolnosti vůči vodním parám charakterizuje schopnost materiálu propouštět vyprodukovanou vlhkost do vnějšího prostředí. Čím je tato hodnota nižší tím materiál tzv. lépe dýchá. Firmy specializované na výrobu a prodej outdoorového oblečení a vybavení do přírody uvádí spolu s dalšími parametry tento údaj při popisu výrobků.

Podle informací z internetu používá se pro materiály podle dosaženého Ret (viz. kapitola 2.1.6.) následující klasifikace:

Tab. 8.1 Klasifikace Ret[22]

Ret < 6	velmi dobrá
Ret 6 – 13	dobrá
Ret 13 – 20	uspokojivá
Ret > 20	neuspokojivá

Pokud se použije uvedená klasifikace pro vyhodnocení údajů zjištěných při hodnocení vybraných pletenin je patrné, že všechny vykazují velmi dobré vlastnosti. Nejlepší hodnoty jsou zaznamenané u pletenin ve složení Rhovyl/viskóza FR, přičemž nepatrně lepší jsou u pleteniny upravené.

Jestliže se porovnají zjištěné údaje s výsledkem hodnocení pleteniny na bázi polypropylenu, která byla zvolena jako etalon, byly naměřeny vyšší hodnoty u pletenin ve složení Kermel / viskóza FR s výjimkou upraveného interloku.

Z porovnání hodnot zjištěných na pleteninách před úpravou a po provedené průmyslové úpravě vyplývá, že vlivem úpravy došlo ke zlepšení u pletenin Kermel/viskóza FR- interlok a Kermel/viskóza FR- smyčka. Zhoršení vlastností se projevilo u pletenin ve složení Protex / bavlna a Rhovyl/viskóza FR.

Je zřejmé, že se u všech testovaných pletenin provedená úprava projevila na změně odolnosti vůči působení vodních par, tj. hodnota Ret. Největší podíl na tom má zřejmě změna plošné hmotnosti, případně další faktory jako např. změna struktury pleteniny, povrchové vlastnosti vlákna.

Zkoušky nehořlavosti se hodnotily subjektivně (viz. kapitola 2.3.3), větší vypovídací schopnost by mělo měření LOI, avšak pro tento účel byly zkoušky zcela dostačující. Po klasifikaci výsledků pálení do kraje i do plochy nejlépe vyšly všechny pleteniny ze směsi Kermel/viskóza FR a to upravené i neupravené, proto je můžeme zařadit do skupiny indexu omezení šíření plamene 3, což je nejnáročnější skupina. Do této skupiny bychom také mohli zařadit upravenou pleteninu ve složení Protex/bavlna, stejně tak všechny materiály podrobené zkouškou zapálení do plochy.

Do skupiny indexu omezení šíření plamene 2 by byly zařazeny materiály neupravený Protex/bavlna kvůli době dožehu nad 2s ve zkoušce zapálení do kraje a materiály Rhovyl/viskóza FR, které dohořívaly v podélném směru.

Materiály, které jsou zařazeny do skupin pro index omezeného šíření plamene 2 a 3, vyhovují pro použití na spodní prádlo pro hasiče (viz. kapitola 2.3.3)

Vzhledem k výsledkům je patrné, že úprava pozitivně ovlivnila hořlavostní charakteristiky, můžeme to přisoudit změně plošné hmotnosti, změně struktury pleteniny a dalším faktorům změněným vlivem finální úpravy. Nejdůležitější poznatek však je, že se vlastnosti materiálů vlivem konečných úprav nezhoršily.

Na fyzikálně mechanické a funkční vlastnosti pletenin působí změny plošné hmotnosti a struktury pletenin. Projevují se vlivy:

## 1. Vlastnosti aplikovaných vláken

- Podle poznatků mají aramidová vlákna tendenci se působením tepla srážet. (Vlákno Kermel se řadí k aramidovým vláknům i když chemicky je to polyamid-imid).
- Stejně chování vykazují vlákna polyvinylchloridová (Rhovyl), praní se doporučuje v lázni max 30°C.
- Vlákna modakrylová (Protex) - pletenina neupravená, tj.bez fixace, se sráží

## 2. Vlastnosti pletenin

- Interlok se po praní roztahuje na šířku a sráží na délku
- Oboulícní úplet v žebrové vazbě se plete užší, přirozeně se natahuje

## 9 Použitá literatura

- [1] SUBRAMANIAN, SENTHIL KANNAN, M., GEETHAMALINI, R.: Chemical Fibers International, PSG College of Technology, Coimbatore/India, Vol. 55, duben 2005, str. 100-106
- [2] STANĚK, D.: Hodnocení komfortu ochranných oděvů příslušníků jednotek PO za standardních a extrémních podmínek při zásahu. [online], diplomová práce. Ostrava, 2008. 67 s.
- [3] MILITKÝ, J.: Tepelně odolné textilie - Výzkumná studie, Liberec, 2009
- [4] VÚB a.s., Technické textilie – vlastnosti, aplikace, listopad 2004
- [5] Fyziologie odívání – SVÚT Liberec (1980)
- [6] FLÉGLOVÁ, Z.: Zpracovatelské a užité vlastnosti oděvních materiálů, skriptum, Liberec 2009
- [7] Text.Res.Journal, September 2010, 80, str.1522-1530 (prvně publ. 18. 3. 2010)
- [8] MILITKÝ, J.: Tepelně odolné textilie Výzkumná studie Projekt: Vývoj technologie pro tvorbu vrstevnatých struktur obsahujících textilní mřížky, Liberec 2009
- [9] J W S Hearle, High: Performance fibres, 2008
- [10] SUBRAMANIAN SENTHIL KANNAN, M., GEETHAMALINI, R.: Chemical Fibers International, PSG College of Technology, Coimbatore/India, Vol. 55, duben 2005, str.100-106
- [11] PEREPELKIN, K. E., MAKAROVA, R. A.: High temperature resistant polyoxadiazole fibers and yarns, Chemical Fibers International 4/2006
- [12] MACHAŇOVÁ, D: FINÁLNÍ ÚPRAVY TETILÍ,
- [14] <http://www.rajvirindustrieslimited.com/flame.htm>, 12. 9. 2011
- [15] <http://www.modacrylic.com/english/protex/index.html>, 12. 9. 2011
- [16] Modakrylová vlákna se sníženou hořlavostí VÚB a.s 2000.
- [17] SEIDL, R: Vysokovýkonná vlákna pro inovující textilní průmysl. Wattwil, Švýcarsko: Mittex, 6/2005. s. 8-9.
- [18] Firemní literatura firmy KERMEL
- [19] Vlákna Rhovyl FT1 VÚB 16. 3. 2009
- [20] Úprava vláken Rhovyl FT7 VÚB 1. 7. 2009
- [21] KOVÁŘ, R.: PLETENÍ, Liberec 1999



- [22] BALAJ, K. *Treking* [online]. 6.2.2009 [cit. 2011-12-17]. Bundy v outdooru. Dostupné z WWW: <<http://www.treking.cz/testy/bundy-v-outdooru.htm>>.
- [23] Norma ČSN EN 31092 (800819) Textilie – Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou)
- [24] Norma ČSN EN ISO 9237 (800817) Textilie – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií
- [25] Norma ČSN EN ISO 15025 (832750) Ochranné oděvy – Ochrana proti teple a ohni – Metoda zkoušení pro omezené šíření plamene
- [26] Norma ČSN EN ISO 14116 (832751) – Ochranné oděvy – Ochrana proti teple a ohni – Materiály a sestavy materiálů s omezeným šířením plamene